

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
Физико-технологический институт

**V Международная молодежная научная конференция,
посвященная памяти Почетного профессора УрФУ В.С. Кортova**

**Физика. Технологии. Инновации.
ФТИ-2018**

Секция 1

14–18 мая 2018 г.

Тезисы докладов

Екатеринбург
2018

УДК 001.895:621.039 (063)
ББК 22.31я43+24.13я43+32.97я43
Т29

Т29 Тезисы докладов V Международной молодежной научной конференции, посвященной памяти Почетного профессора УрФУ В.С. Кортובה (Секция 1): Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2018 (14–18 мая 2018 г.). / отв. за вып. А. В. Ищенко. Екатеринбург : УрФУ, 2018. 182 с.

Конференция проведена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта 18-32-10016 мол_г.

Редакционная коллегия: В. Н. Рычков, С. В. Звонарев, А. В. Ищенко, Е. А. Бунтов, И. С. Жидков, А. С. Дедюхин, В. С. Семенищев, М. И. Сутормина, О. А. Евсегнеев, А. А. Смирнов, Д. А. Метелев, Э. В. Патраков.

УДК 001.895:621.039 (063)
ББК 22.31я43+24.13я43+32.97я43

©УрФУ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1 Физика конденсированного состояния	9
<i>Pushkarev I., Kulesh N., Kulikova T., Vas'kovskiy V.</i> Magnetization processes in thin films with ordered nanoscale defects	10
<i>Изможеров И.М., Байкенов Е.Ж., Дубовик М.Н., Филиппов Б.Н.</i> Влияние геометрических параметров на асимметрический пиннинг доменных границ в плёнках с одноосной анизотропией	11
<i>Байкенов Е.Ж., Изможеров И.М., Зверев В.В.</i> Динамика намагниченности в тонких пермалловых нанодисках при воздействии внешнего импульсного магнитного поля	13
<i>Toropova L.V., Alexandrov D.V., Galenko P.K.</i> On the theory of stable mode of dendritic growth in the case of convective heat and mass transport at the solid-liquid interface	15
<i>Рудаков Г.А.</i> Магнитные свойства суперпарамагнитных наночастиц переходных металлов в углеродных нанооболочках	17
<i>Mufasalova A.O., Pustovarov V.A.</i> Luminescence studies Of $Pb_xCa_{1-x}MoO_4$ solid solution	19
<i>Kozlov A.V., Pustovarov V.A.</i> Luminescence-optical properties of complex oxyfluorides crystals	20
<i>Дабаева А.Б., Мантатов В.В.</i> Параметры стекол в области стеклования	22
<i>Мамонтов Ю.И., Лисенков В.В.</i> Оценка влияния эффекта убегания электронов на их ионизационную способность	24
<i>Габдрахманов И.А., Мочалова Е.Н., Галиханов М.Ф., Галиханов Э.М.</i> Исследование диэлектрических свойств эпоксиаминных полимерных материалов	26
<i>Гильманов И.Р., Галиханов М.Ф., Гильманова А.Р., Дымова М.А.</i> Зависимость электретных свойств пенополиэтилена от коэффициента вспенивания	27
<i>Татаринев А.С., Кобелев М.А.</i> Расчёт сжимаемости в расплавленных смесях галогенидов калия методом молекулярной динамики	29
<i>Семянникова А.А., Емельянова С.М., Марченков В.В.</i> Электрические и магнитные свойства сплавов гейслера $Ni_{47-x}Mn_{42+x}In_{11}$ ($x = 0, 1, 2$)	31
<i>Sotnikov O.M., Mazurenko V.V., Katanin A.A.</i> Monte Carlo study of magnetic nanoparticles adsorbed on halloysite $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ nanotubes	32
<i>Волкова С.В., Мусина Л.Р.</i> Влияние электретного эффекта на прочностные характеристики обеззоленных фильтров	34
<i>Ваганов А.Ш., Киряков А.Н.</i> Исследование кривых термолюминисценции $MgAl_2O_4:Gd$ в разных спектральных полосах	35
<i>Жумагулов Я.В., Неверов В.Д., Лукьянов А.Е., Красавин А.В.</i> Исследование магнитных, нематических и сверхпроводящих свойств высокотемпературных сверхпроводников на основе железа методом вариационного кластерного приближения	37
<i>Глухов А.В., Волков А.Ю.</i> Структура и свойства упорядоченных по типу $L1_0$ сплавов медь-золото	39
<i>Колосов В.Ю., Жигалина О.М., Хмеленин Д.Н., Бокуняева А.О.</i> Анализ ориентировок тонкой плёнки PZT с 10% La просвечивающей электронной микроскопией	41
<i>Копысов А.С., Петрова Е.В., Смирнов В.А., Кокорин А.Ф.</i> Кора плавления метеорита царев L5: экспериментальный результат термического воздействия	43

<i>Badrtdinov D.I., Hembacher J., Mazurenko V.V., Tsirlin A.A.</i> Spin S=1 chain model for BaMoP ₂ O ₈	44
<i>Kiselev S.A., Pustovarov V.A.</i> Luminescence of Er ³⁺ ions in SrF ₂ crystals under x-ray, ultraviolet and infrared excitation.....	46
<i>Titova E.A., Alexandrov D.V.</i> 2D dendrite shape in the large chemical Péclet number limit.....	47
<i>Дорошева И.Б., Валеева А.А., Ремпель А.А.</i> Зависимость физических и оптических свойств наноструктурного диоксида титана от кислотно-щелочного состояния исходного раствора при золь-гель синтезе	49
<i>Mohamed S. I. Koubisy, Mahmoud Tammam</i> Contribution of Omega (782) resonance on the response functions for d(e, e'π-)pp reaction.....	50
<i>Спиридонов Д.М., Хинайш А.М.А., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.</i> Анализ формы спектров фотолюминесценции в нанопорошках h-BN при возбуждении в УФ-диапазоне.....	52
<i>Goshev A.A., Eseev M.K.</i> Influence of small times of CNT functionalization to their electrophysical properties	53
<i>Матасов А.В.</i> О характерных длинах сверхпроводников.....	55
<i>Бандо Р.Д., Червонцева Е.А., Мартюшев Л.М.</i> Численное исследование морфологической устойчивости границы движущихся жидкостей при наличии гармонических возмущений.....	56
<i>Кашин И.В., Мазуренко В.В., Руденко А.Н.</i> Моделирование фотоэлектронных спектров монослоя сурьмы	58
<i>Кашин И.В., Андреев С.Н., Мазуренко В.В.</i> Особенности моделирования коллективных магнитных возбуждений в соединениях переходных металлов.....	59
<i>Вялова С.А., Кашин И.В.</i> Проектирование элементарного передающего устройства на базе поверхностной наносистемы Co/Cu(111)	61
<i>Коренистов П.С., Марченков В.В.</i> Нелинейные вольт-амперные характеристики особочистых монокристаллов вольфрама при низких температурах и в сильных магнитных полях.....	63
<i>Девяцкий О.В., Сысоев И.А., Касьянов И.В.</i> Импульсное лазерное напыление тонких пленок GaPN на Si.....	64
<i>Панков В.А., Чуркин В.Ю., Фролов Е.И., Звонарев С.В.</i> Термолюминесценция керамик оксида алюминия, допированных примесями металлов.....	66
<i>Чуркин В.Ю., Панков В.А., Фролов Е.И., Смирнов Н.О., Звонарев С.В.</i> Люминесценция керамик оксида алюминия с примесями магния и марганца.....	68
<i>Жилова О.В., Панков С.Ю.</i> Структура и электрические свойства многослойной системы In ₂ O ₃ -C	69
<i>Савченко С.С., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.</i> Свечение квантовых точек InP/ZnS в диапазоне 7.5-295 К при импульсном фотовозбуждении.....	71
<i>Волков А.С., Копосов Г.Д., Перфильев Р.О.</i> Диэлектрическая спектроскопия льда при различных градиентах заморозки.....	73
<i>Черноскулов А.С., Мартюшев Л.М.</i> Динамический режим роста парового пузыря в жидкости. Двумерный случай.....	75
<i>Зацепин А.Ф., Бунтов Е.А., Зацепин Д.А., Бокизода Д.А., Вяткина С.П., Касьянова А.В.</i> РФЭС-аттестация тонкопленочных углеродных композитов с переменной гибридизацией.....	76

<i>Алексеев И.В., Андреев С.В., Волегов А.С.</i> Влияние многолетнего старения на магнитные свойства быстрозакаленных сплавов $\text{Nd}_9\text{Fe}_{85}\text{B}_6$	78
<i>Тимошенко И.В., Парулин Р.А., Кузнецова Ю.А., Зацепин А.Ф., Буянова Е.С., Михайловская З.А., Кубиси М.</i> Влияние ионов висмута на люминесценцию шеелитоподобного молибдата кальция.....	79
<i>Сербин Е.Д., Костин В.Н.</i> Многопараметровая магнитоакустическая диагностика структурно-фазового состояния сталей после деформационных и термических воздействий.....	81
<i>Бызов А.В., Костин В.Н., Василенко О.Н.</i> Определение глубины упрочненного слоя на стальных изделиях по изменению формы локально измеряемой петли гистерезиса	82
<i>Федоровых В.В., Чезганов Д.С., Шихова В.А., Власов Е.О., Васькина Е.М., Зеленовский П.С., Шур В.Я.</i> Формирование доменной структуры под действием облучения электронным и ионным пучком в монокристаллах ниобата бария-стронция.....	84
<i>Комаров К.К., Дзедзисашивили Д.М.</i> Лондоновская глубина проникновения в ансамбле спин-поляронных квазичастиц купратных сверхпроводников.....	86
<i>Alikin Yu.M., Turygin A.P., Alikin D.O., Kosobokov M.S., Shur V.Ya.</i> Self-organized domain structure at non-polar cuts of lithium niobate as a result of local switching	88
<i>Гергега В.А., Кондаков О.В.</i> Моделирование формы линии энергетического спектра висмута варьированием значений циклотронных масс.....	89
<i>Меньшенина А.А., Никифоров С. В., Кирыков А. Н.</i> Люминесценция радиационно-окрашенного диоксида циркония.....	91
<i>Лисьих Б.И., Пряхина В.И., Грешняков Е.Д., Ахматханов А.Р., Зеленовский П.С., Аликин Д.О., Шур В.Я., Bartasyte A.</i> Исходная доменная структура в танталате лития с неоднородным распределением состава.....	93
<i>Бутаков Д.С., Мелких А.В.</i> Моделирование процессов контактного плавления с учетом поверхностного квазижидкого слоя	94
<i>Пономарева А.И., Никифоров С.В.</i> Исследование возможностей использования эффектов конкурирующего влияния глубоких ловушек в Al_2O_3 для люминесцентной термометрии	95
<i>Маклакова А.В., Батенькова А.С., Волкова Н.Е.</i> Твёрдые растворы в системах $\text{Sr}(\text{Gd}, \text{Sm})\text{-Co-O}$: синтез, кристаллическая структура и кислородная нестехиометрия.....	97
<i>Колосов В.Ю., Юшков А.А., Веретенников Л.М.</i> Исследование тонких пленок висмута методами электронной микроскопии.....	99
<i>Касьянова А.В., Бунтов Е.А., Зацепин А.Ф., Вяткина С.П.</i> Параметры характеристических линий комбинационного рассеяния света в пленках цепочечного углерода.....	100
<i>Тарасюк В.О., Бирюков Д.Ю., Зацепин А.Ф., Вяткина С.П.</i> Фотолюминесценция кислородно-дефицитных центров в кварцевом стекле куви, имплантированном ионами рения.....	102
<i>Trofimova E.S., Pustovarov V.A., Kuznetsova Yu.A., Zatsepin A.F.</i> Up-conversion emission in Gd_2O_3 doped with RE-ions.....	104
<i>Ильин Д.О., Байтимиров Д.Р., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.</i> Изучение ЭПР спектров нанопористых структур анодированного оксида алюминия	105
<i>Serazetdinov A.R., Smirnov A.A., Pustovarov V.A., Isaenko L.I.</i> Upconversion luminescence of Er^{3+} doped KPb_2Cl_5 and RbPb_2Br_5 crystals.....	107

<i>Алсейтова А.Е., Кайнарбай А.Ж.</i> Разработка люминесцентного солнечного концентратора.....	109
<i>Панков С.Ю., Жилова О.В., Макагонов В.А.</i> Влияние аморфного углерода на структуру и электрические свойства тонких пленок (ZnO/C) ₈₁	110
<i>Мережников А.С., Никифоров С.В.</i> Моделирование дозовых характеристик термолюминесценции в кластерных системах с глубокими ловушками	112
<i>Merezhnikov A.S., Nikiforov S.V.</i> Simulation of dose response of thermoluminescence in cluster systems with deep traps.....	112
<i>Мелких А.В., Скворцов Д.В.</i> Разделение веществ при испарении из двух- и трехкомпонентной смеси и ее оптимизация.....	114
<i>Думич А.С., Кайнарбай А.Ж.</i> Коллоидные квантовые точки CdTe синтез, оптические и фотовольтаические свойства.....	115
<i>Игольников А.А., Поволоцкий И.И., Волосников Д.В., Скрипов П.В.</i> Тепловая проводимость перегретых бинарных растворов	117
<i>Yuzhakov V.V., Koryukova T.A., Zelenovskiy P.S., Vasilev S.G., Gunina E.V., Chezganov D.S., Kholkin A.L., Shur V.Ya.</i> Investigation of piezoelectric and elastic properties of diphenylalanine microtubes – oxide nanoparticles composites.....	118
<i>Филатов М.С., Стогней О.В.</i> Структура градиентных пленок Ni-ZrO ₂ полученных с помощью магнетронного вч напыления в реактивной среде (Ar+O ₂)	119
<i>Тарасова О.С., Новичихина А.П., Ситников А.В.</i> Высокочастотные свойства пространственно-неоднородных панелей с нанокompозитным покрытием ферромагнитный металл - диэлектрик.....	121
<i>Перфильев Р.О., Волков А.С., Копосов Г. Д.</i> О вкладе двойного электрического слоя в диэлектрическую проницаемость мёрзлых дисперсных сред.....	122
<i>Авдюшин И. Г., Никифоров С.В., Киряков А.Н.</i> Люминесцентные свойства анион-дефектных керамик на основе Al ₂ O ₃ -BeO	124
<i>Беликов А.С., Марченков В.В.</i> Особенности низкотемпературного магнитосопротивления монокристаллов вольфрама.....	126
<i>Гринина З.В., Кулеш Н.А.</i> Наноперфорированные ферромагнитные пленки TbCo с перпендикулярной анизотропией.....	127
<i>Чуланова В.Н., Комкова Д.А., Антонова О.В., Волков А.Ю.</i> Структура магния после осадки при комнатной температуре	129
<i>Адакаова О.А., Балымов К.Г., Кудюков Е.В., Кулеш Н.А.</i> Влияние ультратонкой прослойки на параметры межслойной обменной связи в пленках Fe ₁₀ Ni ₉₀ /X/Tb-Co (X=Ti,Ni,Tb).....	131
<i>Lipitskaya Yu.A.</i> Synthesis and ionic conductivity of RE-doped barium cerate	132
<i>Гонцова С.С., Даниленко И.А., Яковлев Г.А., Петрова Е.В., Максимова Е.М., Наухацкий И.А.</i> Морфология сульфидных минералов в некоторых обыкновенных хондритах.....	133
<i>Мерзлякова А.С., Чезганов Д.С., Гимадеева Л.В., Власов Е.О., Шур В.Я., Холкин А.Л.</i> Эволюция доменной структуры релаксорной керамики цирконата - титаната свинца, легированной лантаном состава 8/65/35 после селективного химического травления и облучения электронами	135
<i>Лукиянов А.Е., Неверов В.Д., Жумагулов Я.В., Красавин А.В.</i> PYED + VCA: точная диагонализация конечных квантовых систем и вариационное кластерное приближение.....	136

Москалев М.Е., Лепаловский В.Н., Наумова Л.И., Юшков А.А., Колосов В.Ю., Васьковский В.О. Исследование структурного состояния плёнок Ta/Ni _x Mn _{100-x} /Ta, полученных магнетронным распылением.....	138
Доможирова А.Н., Чистяков В.В., Huang J.C.A., Марченков В.В. Электросопротивление и гальваноманнитные свойства тонких пленок Bi ₂ Se ₃	140
Доможирова А.Н., Махнев А.А., Чистяков В.В., Патраков Е.И., Huang J.C.A., Марченков В.В. Электрические и оптические свойства монокристалла PtSn ₄	141
Замковская А.И., Максимова Е.М., Наухацкий И.А. Исследование теплового расширения бората железа вблизи точки Нееля.....	143
Gimadeeva L.V., Chezganov D.S., Vlasov E.O., Vaskina E.A., Shur V.Ya. Domain wall shape instability in congruent lithium tantalate during switching by ion beam.....	145
Vlasov E.O., Chezganov D.S., Gimadeeva L.V., Chuvakova M.A., Shur V.Ya. The ferroelectric domain formation under the action of an electron beam in lithium niobate crystals.....	146
Козловский А.Л., Кадыржанов Д.Б. Направленная модификация наноструктур.....	147
Козловский А.Л., Кадыржанов Д.Б. Исследование изменения структурных свойств дендритов под действием радиационного облучения He-частицами.....	148
Abramov A.S., Alikin D.O., Neradovskiy M.M., Turygin A.P., Ushakov A.D., Rokeah R.O., Nikitin A.V., Karpinsky D.V., Shur V.Ya., Kholkin A.L. Local electromechanical characterizations of La and Pr doped bismuth ferrite ceramics.....	149
Дикушина Е.А., Москвин А.С. Компьютерное моделирование фазовых диаграмм модельных купратов.....	151
Шевелев В.С., Ищенко А.В., Платонов В.В., Соковнин С.Ю., Ильвес В.Г., Тихонов Е.В., Карженков О.И., Шульгин Б.В. Люминесцентные свойства BaF ₂ -наполнителей для композитных сцинтилляторов.....	152
Шевелев В.С., Ищенко А.В., Павлюк Д.Е., Копчук Д.С., Ковалев И.С., Зырянов Г.В., Аналиков Н.В., Шульгин Б.В. Органические сместители спектра для композитных сцинтилляторов.....	154
Загрутдинова А.К., Галиханов М.Ф., Галиуллина А.С., Минзагирова А.М. Разработка асептической упаковки для медицинских инструментов.....	155
Горьковенко А.Н., Лепаловский В.Н., Васьковский В.О. Особенности доменной структуры пленок FeMn/Fe ₂₀ Ni ₈₀ /Co-Al ₂ O ₃ /Fe ₂₀ Ni ₈₀	157
Дюбуа А.Б., Конюхов А.Н., Кучерявый С.И., Машнина С.Н., Потапова В.В., Сафошкин А.С. Температурные зависимости времени электрон-электронных взаимодействий в легированных гетеропереходах.....	159
Zoteev K.F. [*] , Alikin D.O., Turygin A.P., Ushakov A.D., Hu Q., Shur V.Ya. Evolution of the polarized state in rhomboedrical 0.74Pb(Mg _{1/3} Nb _{1/3})O ₃ -0.26PbTiO ₃ single crystal at elevated temperature.....	161
Шалакин С.А., Угланов Е.А., Вохминцев А.С., Минин М.Г., Вайнштейн И.А. Температурное тушение фотолюминесценции углерод-кислородных комплексов в гексагональном нитриде бора.....	162
Фатыков К.К., Камалов Р.В., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А. Установка для определения фотоэлектрохимической активности электродов на основе нанотубулярного диоксида титана.....	164

Бабайлова Г.Ф., Ягодин В.В., Иценко А.В., Ивичева С.Н., Лысенков А.С., Каргин Ю.Ф., Шульгин Б.В. Като�олюминесценция оксинитрида алюминия Al_5O_6N с двойным допированием редкоземельными ионами	165
Ягодин В.В., Иценко А.В., Ивановских К.В., Ахмадуллина Н.С., Лысенков А.С., Каргин Ю.Ф., Шульгин Б.В. Фотолюминесценция оксинитрида алюминия Al_5O_6N , допированного редкоземельными ионами.....	167
Чайкин Д.В., Вохминцев А.С., Афонин Ю.Д., Чукин А.В., Мартемьянов Н.А., Вайнштейн И.А. Электродлюминесценция кислород-связанных дефектов в субмикронном порошке нитрида алюминия	169
Газизова Д.Д., Ушаков А.В., Стрельцов С.В. Димеризация в соединении Na_2RuO_3 под давлением.....	171
Шутов И.С., Харитонов К.И., Сарычев М.Н. Исследование проявления эффекта Яна-теллера в упругих свойствах кристалла $ZnSe:Ni$ методом акустической спектроскопии	172
Бородин К.И., Волков В.А. Диффузия в бинарных растворах внедрения	174
Бородин К.И., Волков В.А. Взаимная растворимость бинарных растворов внедрения...	175
Вяткина С.П., Зацепин А.Ф., Рычков В.Н., Кузнецова Ю.А., Машиковцев М.А. Оптические свойства твердых растворов $Gd_2O_3-Y_2O_3$	177
Минихаметова Е.А., Байтимиров Д.Р., Конев С.Ф., Иванов Д.В., Правишкина Т.А. Природа возникновения радиационно-индуцированных парамагнитных центров в меланине по данным ЭПР спектроскопии.....	179

СЕКЦИЯ 1

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

MAGNETIZATION PROCESSES IN THIN FILMS WITH ORDERED NANOSCALE DEFECTS

Pushkarev I., Kulesh N.^{*}, Kulikova T., Vas'kovskiy V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

^{*}E-mail: nikita.kulesh@urfu.ru

Control of magnetic anisotropy in thin magnetic films is an important topic in nanomagnetism research on the fundamental viewpoint. From application standpoint, it is essential for building many low-dimensional systems used in sensors and spintronic devices. Intentionally introduced nanoscale defects were demonstrated to have a significant effect on uniaxial anisotropy of permalloy, iron, cobalt and other popular materials [1]. Of particular importance are defects of the size comparable to the length scales on which a material property changes, e.g. exchange length and the domain wall width. Following Schlömann's calculations for local demagnetizing field created by an ideal sinusoidal surface, nanopatterning can be used to induce or to eliminate the uniaxial magnetic anisotropy [2]. In this study, we investigated the effect of defects with well-controlled parameters like size and period on magnetic anisotropy and magnetization processes in magnetically soft nanocrystalline permalloy or amorphous finemet films.

Magnetic films having fixed 30 nm thicknesses were deposited by magnetron sputtering at presence of the in-plane technological magnetic field. Control samples were deposited onto the smooth Corning glass substrates. The hexagonal antidot or nanohills lattices were introduced by using anodic alumina substrates with appropriately modified surfaces. The substrates were synthesized by two-step anodization in the oxalic acid. A typical diameter of nanoholes or nanohills was 50 nm, the period of the hexagonal lattice was fixed at 105 nm. Magnetic properties of patterned samples were analyzed using vibrating sample magnetometer and magnetooptical Kerr microscope. The samples morphology was analyzed by atomic force microscopy and scanning electron microscopy.

Angular dependencies of hysteresis properties were measured for all the samples. Hysteresis loops were measured for in-plane and out-of-plane magnetization components to obtain a complete vectorial information. Contrary to the surface ripple introduced by a more traditional ion irradiation [1], the effect of antidots or nanohills lattices was demonstrated to be isotropic in the samples plane due to irregularities in the defects lattices. The experimental results were interpreted using simple coherent rotation Stoner-Wolfforth model, showing a good agreement at most angles except for the range close to the easy magnetization axis. To study the microscopic magnetization processes we employed micromagnetic modelling with periodic boundary conditions. In conclusion, antidots or nanohills lattices with adjustable parameters were confirmed to be an effective tool for tailoring the magnetic anisotropy and hysteresis properties of thin ferromagnetic films.

This work was supported by the President of Russian Federation grant for young scientists (Contract 14.Y30.18.1891-MK)

1. Fassbender J., Strache T. et al., New Journal of Physics, 11, 125002 (2009).
2. Schlomann E., J. Appl. Phys., 41, 1617 (1970).

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА АСИММЕТРИЧЕСКИЙ ПИННИНГ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ПЛЁНКАХ С ОДНООСНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Изможеров И.М.^{1,2*}, Байкенов Е.Ж.¹, Дубовик М.Н.², Филиппов Б.Н.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ ФГБУН «Институт физики металлов УрО РАН», г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: imizmozherov@urfu.ru

GEOMETRY INFLUENCE ON ASSYMETRIC DOMAIN WALL PINNING IN FILMS WITH UNIAXIAL MAGNETIC ANISOTROPY

Izmozherov I.M.^{1,2*}, Baykenov E.Z.¹, Dubovik M.N.², Fillipov B.N.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of metal physics, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

This work is devoted to the properties of asymmetric vortex domain wall in uniaxial Permalloy thin film with areas of magnetic inhomogeneity (“defect”). We carried out micromagnetic simulations to obtain asymmetric hysteresis loops in extrinsic uniform magnetic field, parallel to easy axis and look after loop dependence on geometrical parameters of defects: their size and distance between two defects. It has been shown that there are critical values of these parameters, corresponding to phase transitions.

Дефекты (вакансии включения), которые нарушают однородность свойств ферромагнетика, существенным образом определяют структуру намагниченности и подвижность доменных границ (ДГ). Эти факторы, в свою очередь, оказывают влияние на макроскопические свойства магнитного образца.

Ранее в работах [1,2] изучалось поведение 180 градусных асимметричных ДГ при наличии дефектных областей с повышенной относительно остальной среды константой анизотропии и намагниченностью насыщения. Было показано, что взаимодействие вихря с дефектами может приводить к пиннингу (закреплению) вихря на неоднородности, при этом благодаря асимметричной структуре вихря сам пиннинг также является асимметричным: движения вихря в сторону различных дефектов энергетически не эквивалентно. Это приводит к тому, что петли гистерезиса в поле, параллельном оси лёгкого намагничивания

оказываются смещёнными относительно нулевого магнитного поля. Данная работа является продолжением исследований в данной области и направлена на изучение характера асимметричных петель гистерезиса в зависимости от размеров и расстояния между дефектами. Так в частности при увеличении расстояния между дефектами удаётся наблюдать фазовый переход: одна асимметричная петля гистерезиса переходит в две петли, связанные с пиннингом на каждом из дефектов в отдельности

В численных расчетах использовался пакет микромагнитного моделирования мутах 3 на суперкомпьютере "Уран" ИММ УрО РАН [3].

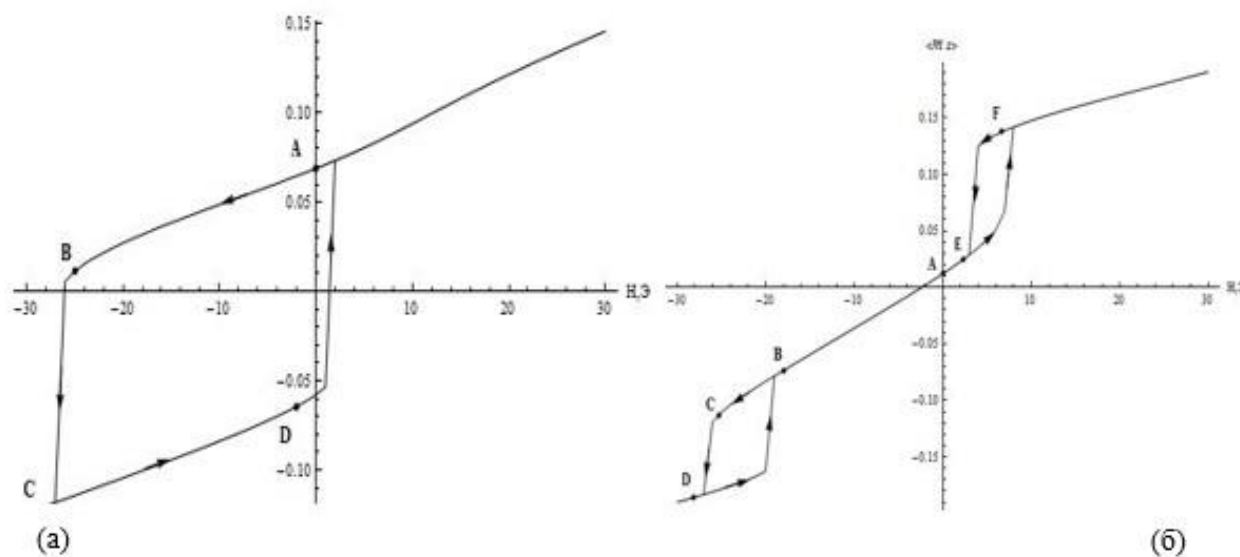


Рис. 1. Зависимость усредненной по расчетной области компоненты намагниченности $\langle m_z \rangle$ от напряжённости внешнего поля H для двух дефектов и расстояния между ними (а) 100 нм, (б) 180 нм

1. Дубовик М.Н., Филиппов Б.Н., Корзунин Л.Г. ФММ. 2015. Т. 116. № 7. С. 694-700.
2. Дубовик М.Н., Филиппов Б.Н. ФММ. 2017. Т. 118. № 5. С. 464-468
3. Vansteenkiste A., Leliaert J., Dvornik M., et al. AIP Advances 4, 107133, (2014)

ДИНАМИКА НАМАГНИЧЕННОСТИ В ТОНКИХ ПЕРМАЛЛОЕВЫХ НАНОДИСКАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Байкенов Е.Ж.^{1*}, Изможеров И.М.^{1,2}, Зверев В.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: erlan.baykenov@urfu.ru

MAGNETISATION DYNAMICS IN THIN PERMALLOY MAGNETIC NANODISKS UNDER ACTION OF EXTERNAL PULSE MAGNETIC FIELD

Baykenov E.Z.^{1*}, Izmozerov I.M.^{1,2}, Zverev V.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of
Sciences, Yekaterinburg, Russia

This work deals with 50nm thick permalloy magnetic nanodisk and its dynamics in two perpendicular in-plane field pulses. Micromagnetic modelling of magnetization dynamics has shown various transitions of ground state: vortex filament, coaxial with disk axis.

В последние годы большое внимание уделяется вопросам динамики намагниченности в наноразмерных образцах: тонких плёнках, нанополосах, нанодисках и т.д. Этот интерес связан в первую очередь с возможностью создания магнитных элементов нового типа и их использования в устройствах записи и считывания информации. Физические системы подобного рода представляют также и фундаментальный интерес, являясь примерами систем с нелинейной динамикой.

Ранее в работе [1] экспериментально и при помощи микромагнитного моделирования с использованием пакета программ OOMMF [2] были исследовано поведение намагниченности в пермалловом цилиндре толщиной 50 нм и диаметром 500 нм при воздействии последовательностью импульсов гауссовой формы. Основным магнитным состоянием цилиндра является вихревая структура, ось которой проходит от одной торцевой поверхности цилиндра к другой вдоль оси цилиндра. Изучалась возможность «переворачивания» намагниченности на оси вихревой нити при помощи импульсов длиной 60 пс при варьировании амплитуды поля и промежутка времени между импульсами. При этом в [1] отмечается некоторое несогласие результатов эксперимента и численного моделирования.

В нашей работе аналогичное моделирование выполнено с помощью пакета MuMax3 [3], позволяющего, в отличие от примененного в [1], использовать вы-

сокопроизводительный графический процессор. Наши результаты в некоторых случаях лучше согласуются с экспериментальными данными из [1] и отличаются от полученных в [1] численными методами. Различия можно объяснить тем, что при численном моделировании используются различные алгоритмы.

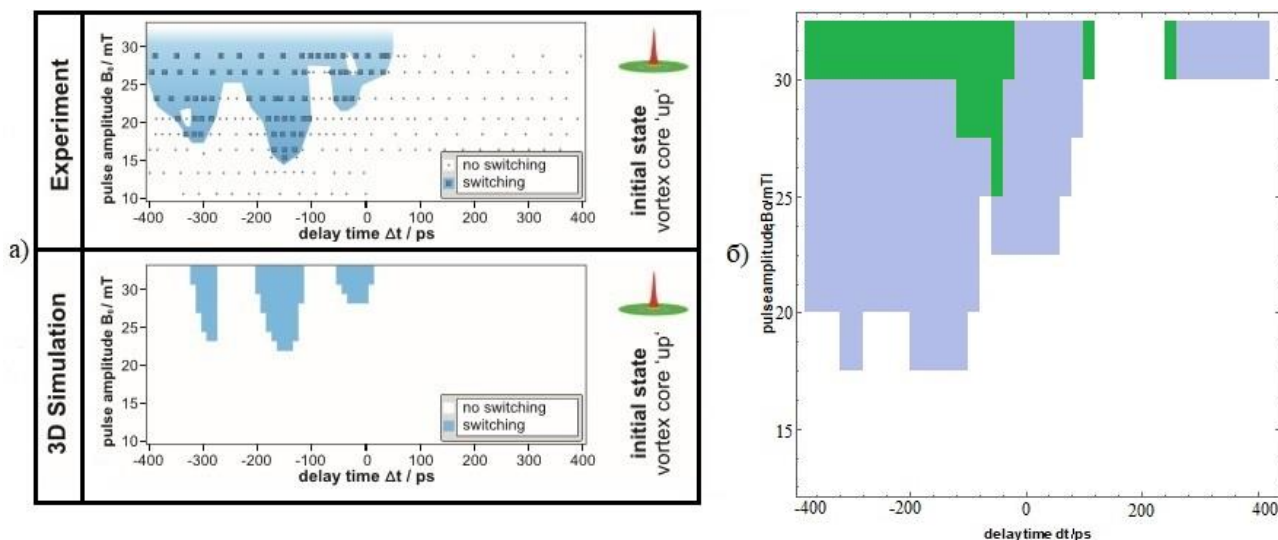


Рис.1 (а) Фазовая диаграмма положения намагниченности в центре вихря в [1] (эксперимент и 3D симуляция), (б) фазовая диаграмма, полученная с помощью MuMax3. По оси абсцисс отложено время между двумя импульсами внешнего поля, по оси ординат – амплитуда импульса (синий цветом обозначен однократный «переворот» намагниченности в центре вихря, зеленым – двукратный).

1. Noske M. et al., J. Appl. Phys., Vol. 119, Iss. 17, P. 173901-1/6 (2016).
2. <http://math.nist.gov/oommf/>
3. <http://mumax.github.io/>

ON THE THEORY OF STABLE MODE OF DENDRITIC GROWTH IN THE CASE OF CONVECTIVE HEAT AND MASS TRANSPORT AT THE SOLID-LIQUID INTERFACE

Toropova L.V.^{1*}, Alexandrov D.V.¹, Galenko P.K.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Germany

*E-mail: l.v.toropova@urfu.ru

Annotation. In this work, a stable relation for the dendrite tip velocity V and its tip diameter ρ via the selection theory and undercooling balance is discussed. The undercooling balance and selection criterion allow us to obtain a pair of most important parameters of primary solidification, V and ρ , at a given undercooling ΔT .

The generalized selection criterion [1] determines a combination between V and ρ in the case of anisotropic thermo-solutal dendritic growth with allowance for the convective heat and mass transport mechanism in the liquid

$$\sigma^* = \frac{2d_0 D_T}{\rho^2 V} = \frac{\sigma_0 \alpha_d^{5/4} (1 + b D_T \beta_1) (1 + \mu \tau_1^{3/2})^2}{\left[1 + v \left(\alpha_d^{3/4} \rho b + \frac{3 \alpha_d^{1/4} P_g \beta_1 D_T}{2^{1/4} d_0} \right) \right]^2} + \frac{2 \sigma_0 \sqrt{\alpha_d} D_T \beta_1}{\rho}. \quad (1)$$

The second relation connecting V and ρ with the driving force of crystallization is the undercooling balance condition. The total undercooling $\Delta T = T_0 - T_\infty$ includes the following contributions at the tip of growing dendrite

$$\Delta T = \Delta T_T + \Delta T_C + \Delta T_R + \Delta T_K, \quad (2)$$

where T_∞ is the temperature far from the dendritic tip, ΔT_T and ΔT_C represent the thermal and solutal undercoolings, respectively, $\Delta T_R = 2d_0 T_Q / R$ is the undercooling contribution arising due to the Gibbs-Thomson effect, and $\Delta T_K = V / \mu_k$ stands for the kinetic contribution (μ_k is the kinetic coefficient).

Expressions

$$\Delta T_T = T_i - T_\infty = \frac{T_Q V k_s}{\alpha_h \rho_l c_l u_* D_T}, \Delta T_C = m(C_i - C_{l\infty}) = \frac{(1 - k_0) V m C_{l\infty}}{a_m u_* - (1 - k_0) V} \quad (3)$$

demonstrate that ΔT_T and ΔT_C are independent of ρ . The undercooling balance condition (2) represents a relation connecting the interfacial temperature T_i at the dendritic tip and the far-field temperature T_∞ in the undercooled liquid phase.

Keeping in mind that the total undercooling $\Delta T = T_0 - T_\infty$ is constant and combining expressions (2) and (3) one can write out the explicit function $\rho(V)$ in the form

$$\rho(V) = \frac{4d_0 T_Q}{\Delta T - \Delta T_T(V) - \Delta T_C(V) - V / \mu_k} \quad (4)$$

Now substituting $\rho(V)$ from (4) into (1), we come to the implicit equation for the dendritic velocity V of the form

$$\frac{\rho^2(V)V}{2d_0D_T}\sigma^*(\rho(V),V)=1, \quad (5)$$

where $\sigma^*(\rho(V),V)$ is determined by the right-hand side of equation (1) after substitution of $\rho(V)$ from expression (4). Thus, relations (4) and (5) represent the exact analytical solution if the convective heat and mass transport completely defines the stable dendritic growth.

Figure (1) illustrates the functions $V(\Delta T)$ and $\rho(\Delta T)$ obtained from the analytical solutions (4)-(5) and solvability criterion (1). One can see that the tip velocity V increases and the tip diameter ρ decreases with increasing the level $\Delta T = T_0 - T_\infty$ of system undercooling.

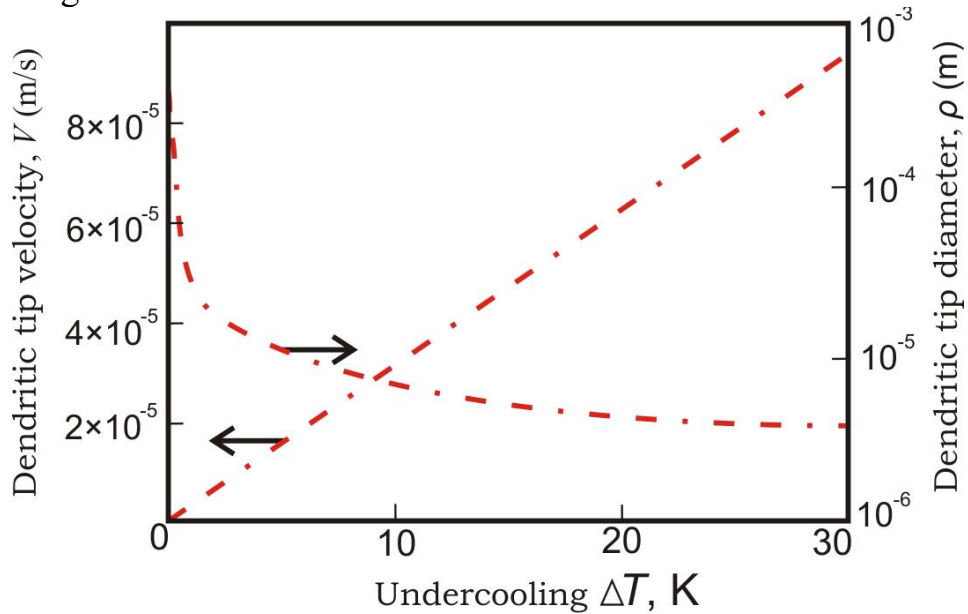


Fig. 1. Dependencies of the dendritic tip velocity V and dendritic tip diameter ρ on undercooling ΔT .

1. Alexandrov D.V., Galenko P.K., Toropova L.V. Phil. Trans. A, 376, 20170215 (2018).

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СУПЕРПАРАМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УГЛЕРОДНЫХ НАНООБОЛОЧКАХ

Рудаков Г.А.

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, Россия

E-mail: vsem_xoy@mail.ru

MAGNETIC PROPERTIES OF SUPERPARAMAGNETIC TRANSITION METAL NANOPARTICLES WITHIN CARBON NANOCAGES

Rudakov G.A.

Perm State University, Perm, Russia

We have demonstrated a simple, scalable, and low-cost method of producing superparamagnetic nanoparticles (SPNs) encapsulated in carbon nanocages (CNCs). It was found that using a facile method of simple annealing of the precursor of Ni, Co or Fe (acetates) mixed with citric acid, one can synthesize respective nanoparticles encapsulated in CNCs with sizes ranging from 5 to 7 nm and superparamagnetic behavior for Ni and Co and from 10 to 100 nm and ferromagnetic behavior for Fe.

В ходе данной работы были синтезированы суперпарамагнитные наночастицы переходных металлов (Ni, Co и Fe) в углеродных нанооболочках (СНвУН). Они интересны как для фундаментальных исследований наноматериалов, так и для применения в качестве защитных покрытий материалов [1], суперконденсаторов [2], как материалы для прямой доставки медикаментов [3] и др.

СНвУН были синтезированы следующим образом: порошок ацетата никеля $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, кобальта $\text{Co}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ или железа $\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ и порошок лимонной кислоты ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) смешивались в воде в соотношении 1:1 и выдерживались при температуре 90 °С в течение 10-15 часов. После этого образцы помещались в керамическую кювету в кварцевую трубу внутри цилиндрической печи. С одной стороны к кварцевой трубе были герметично присоединен баллон с азотом для подачи газа, с другой – вакуумный насос для обеспечения постоянного потока азота при низком давлении. Далее образец нагревался со скоростью 20 °С/мин до фиксированной температуры от 500 до 850 °С и отжигался в течение 10 минут, после чего печь остывала естественным путем.

Полученные образцы были исследованы на сканирующем и просвечивающем электронных микроскопах для подтверждения их структуры, а также на вибрационном магнитометре для изучения их магнитных свойств.

На рис. 1 представлены кривые намагничивания Ni, Co и Fe СНвУН, отожженных при 600 °С. Относительные значения остаточной намагниченности относительно намагниченности насыщения составляют для Ni 1,0 %, Co 0,6 % и для Fe

17 %, что явно свидетельствует о суперпарамагнитизме Ni и Co СНвУН и ферромагнетизме для Fe СНвУН.

В дальнейшем планируется проведение теоретических и экспериментальных работ по созданию управляемого метода синтеза СНвУН других размеров.

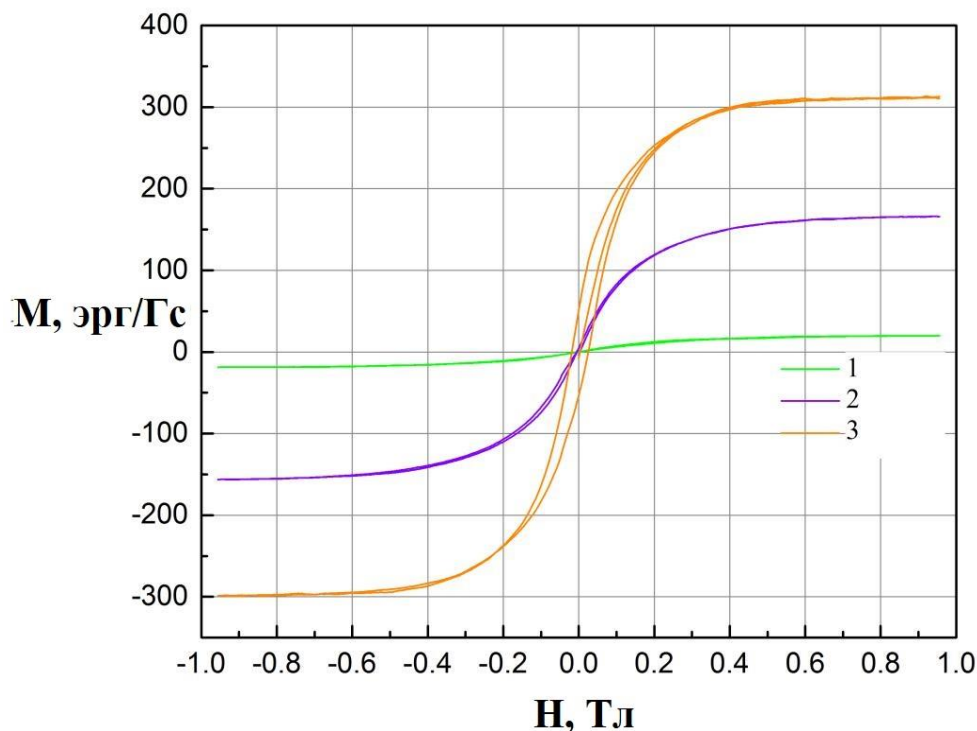


Рис. 1. Кривые намагничивания для Ni(1), Co(2) и Fe(3) СНвУН, отожженных при 600 °С.

1. Rapoport L., Bilik Y., Feldman Y., Homyonfer M., Cohen S.R., and Tenne R., Nature (London), 387, 791 (1997).
2. Guangda L., Liqiang X., Qin H., Meng W., and Yitai Q, RSC Advances, 2, 284-291 (2012).
3. Vinu A., Miyahara M., Mori T., Ariga K., J Porous Mater, 13, 379-383 (2006).

LUMINESCENCE STUDIES OF $\text{Pb}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MoO}_4$ SOLID SOLUTION

Mufasalova A.O.*, Pustovarov V.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: alona96muf@gmail.com

Calcium molybdate crystals show good potential for laser physics and acousto-optics due to a combination of a wide range of functional properties. Over the last decades there has been a growing interest towards CaMoO_4 (space group 4/m, scheelite structure) because of its applicability as a material for cryogenic scintillation detectors. CaMoO_4 crystals contain the ^{100}Mo isotope for which the possibility of neutrinoless double beta-decay has been predicted. A registration of neutrinoless double beta-decay could allow the scientists to determine the weight of the neutrino which is one of the most important tasks of advanced nuclear physics [1].

The aim of this research is the detailed study of luminescence properties of $\text{Pb}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MoO}_4$ crystalline solid solution. Crystalline powders were obtained by solid-phase synthesis in Institute of Solid State Chemistry UB RAS by Dr. V.D. Zhuravlev. The samples were certified using XRD and chemical analysis methods.

Spectra of photoluminescence (PL) and X-ray excited luminescence (XRL) in region of 1.5-5.0 eV, PL excitation spectra, the temperature depending of the XRL as well as thermoluminescence curves in temperature region of 90-500 K were measured.

Some of the main results are presented in Figure 1. PL and XRL spectra contains one wide band (FWHM = 0.6 eV) at 2.3 – 2.5 eV whose maximum position depends on x parameter. This band effectively excited strictly at edge of the fundamental absorption area of pure crystals CaMoO_4 or PbMoO_4 and also at interstitial junction area. Stokes shift is 1.7 - 2.0 eV. PL and XRL output strongly depend on temperature and increases by dozens of times when cooling to $T=90$ K. The activation energy nonlinear depend on x parameter. There are self trapped holes in pure CaMoO_4 and self trapped electrons in pure PbMoO_4 at low temperature [2]. Therefore low temperature emission band at analyzed crystals related to glow self trapped excitons.

Defects of crystal structure in solid solution $\text{Pb}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MoO}_4$ are effectively manifested as capture centers. For example, in Figure 1-a there is thermally stimulated luminescence curve for CaMoO_4 irradiated X-rays at $T=90$ K. This result shows that thermoactivation spectroscopy method can be successfully applied to research these crystals. Analysis of concentration dependence of luminescence parameters including PL, XRL, TSL to be done.

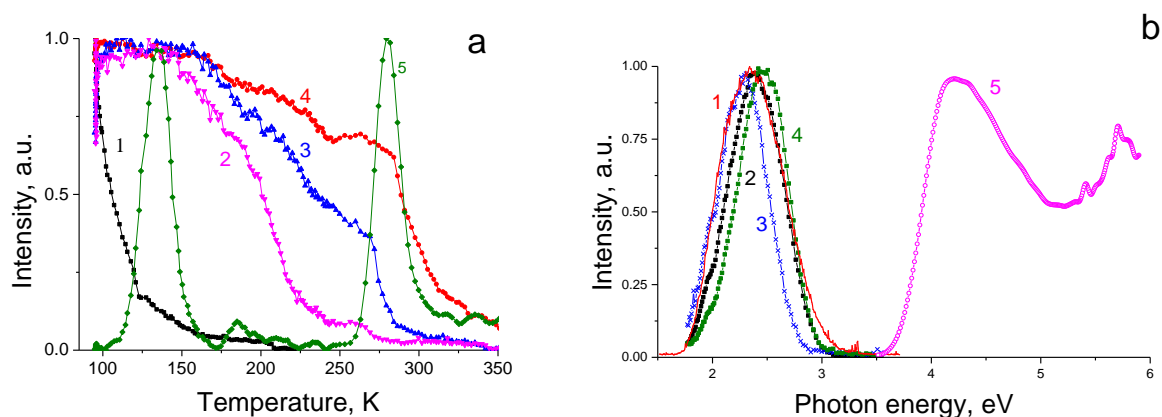


Figure 1. a - Temperature dependences of XRL yield of $\text{Pb}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MoO}_4$ solid solution, $E_{\text{emis}} = 2.4$ eV: $x = 1$ (1), $x=0.7$ (2), $x=0.5$ (3), $x=0$ (4); TSL curve in the 2.4 eV emission band (5). b - PL ($E_{\text{exc}}=4.28$ eV) (1), XRL $x=0$ (2), $x=0.5$ (3), $x=0$ (4) spectra and PL excitation spectrum ($E_{\text{emis}}=2.4$ eV) (5).

1. Mikhailik V.B., Kraus H., J. Phys. D: Appl. Phys, 39, 1181–1191, (2006).
2. D.A. Spassky, N.S. Kozlova, V. Nagirnyi et al. J.of Lumin, 186, 229–237, (2017).

LUMINESCENCE-OPTICAL PROPERTIES OF COMPLEX OXYFLUORIDES CRYSTALS

Kozlov A.V.* and Pustovarov V.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: A.V.Kozlov@urfu.ru

Crystals' family $\text{K}_3\text{WO}_3\text{F}_3$, $\text{Rb}_2\text{KTiOF}_5$, $\text{CsZnMoO}_3\text{F}_3$ is interesting due to several reasons. Firstly, they are the further development of crystals from the complex tungstates and molybdates family, which are widely used as detectors of ionizing radiation for more than 100 years. Secondly, the presence of mixed ligands in complexes $\text{M} - \text{O}_6$ leads to great crystal lattice distortions and changing of properties of the intrinsic luminescence, while chemical properties of oxifluorides in relation of oxides change slightly. Thirdly, studied crystals are used as nonlinear optical converters in integrated and power optics.

The aim of the research was carrying out comparative analysis of luminescent-optical properties of crystals $\text{K}_3\text{WO}_3\text{F}_3$, $\text{Rb}_2\text{KTiOF}_5$, $\text{CsZnMoO}_3\text{F}_3$.

Crystals were grown in Institute of Geology and Mineralogy SB RAS (Novosibirsk), the procedure of grown the samples was described in Ref. [1-3]. The studied samples were certified using XRD, IR absorption spectroscopy, Raman, NMR, chemical analysis and photoelectron spectroscopy methods [1-3].

Spectra of photoluminescence (PL) and X-ray excited luminescence (XRL) in region of 1.5-5.5 eV, PL excitation spectra using synchrotron radiation (3–22 eV), time-

resolved impulse cathode-luminescence (ICL) spectra, the temperature depending of the XRL, luminescence decay kinetics as well as thermoluminescence curves in temperature region of 90-500 K were studied.

The main comparative results are shown in Figure 1. All studied crystals are transparent from microwave to near UV range. PL, XRL spectra contain one broad band with the maximum in the region 2.0 - 2.7 eV, with great ($\sim 1.5 - 2.0$ eV) Stokes shift. PL emission band is excited only in the region of long-wavelength fundamental absorption edge, selective bands in the region of crystal transparency are absent. PL decay kinetics contains components μs – range. PL yield increases in 15 - 20 times (with different activation energy) when cooled to $T = 90$ K. Emission of the main PL band in all crystals is connected to the intrinsic luminescence – the luminescence of self-trapped excitons. Emission is formed electronic transition in metal-(O,F) polyhedra. Despite different chemical composition luminescent crystal properties are based on similar physical properties and in many ways are identical to each other with the exception of the fact that emission band has different Stokes shift depending on the sample. This difference is due to the presence local distortion in the octahedron WO_3F_3 , TiOF_5 and MoO_3F_3 in crystal lattice.

In the research discusses the influence of native and radiation-induced defects in the crystal lattice on yield STE and transfer of charge carriers. The parameters of the capture centers of charge carriers were calculated.

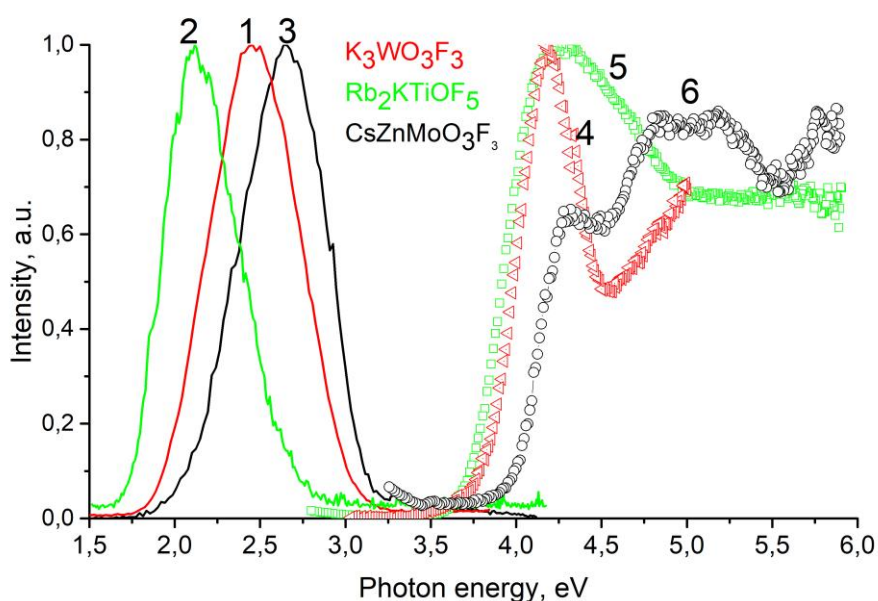


Figure 1. PL (1, 2, 3), PL excitation (4, 5, 6) spectra of $\text{K}_3\text{WO}_3\text{F}_3$ (1, 4), $\text{Rb}_2\text{KTiOF}_5$ (2, 5) and $\text{CsZnMoO}_3\text{F}_3$ (3, 6) single crystals at $T = 90$ K. $E_{\text{exc}} = 4.2$ (1, 2) and 4.4 eV (3), $E_{\text{emis}} = 2.5$ (4), 2.2 (5) and 2.7 eV (6).

1. Molokeev M. Misyul S. et al., Phys. of the Solid State, 53, 834 (2011)
2. Atuchin V., Isaenko L. et al., J. Phys. Chem., 117, 7269 (2013)
3. Gerasimova Y., Oreshonkov A. et al., Phys. of the Solid State, 56, 599 (2014)

ПАРАМЕТРЫ СТЕКОЛ В ОБЛАСТИ СТЕКЛОВАНИЯ

Дабаева А.Б., Мантатов В.В.

Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, Россия

*E-mail: adisa.dabaeva.1997@mail.ru

THE PARAMETERS OF GLASSES IN THE GLASS TRANSITION REGION

Dabaeva A.B., Mantatov V.V.

Buryat State University, Ulan-Ude, Russia

The calculations of the parameters of the model of delocalized atoms for metallic glasses, where the fluctuation volume f_g at the glass transition temperature is about $f_g \cong 0.025-0.027$, which is consistent with the data for amorphous organic polymers and other glassy systems.

Процесс стеклования связан с переходом жидкость-стекло и является мало-исследованной областью физики некристаллических твердых тел. С применением модели делокализованных атомов [1] в данной работе исследованы металлические, неорганические стекла и аморфные полимеры. Рассчитан ряд параметров модели, в том числе флуктуационный объем, описывающих свойства стеклообразных твердых тел и их расплавов.

При расчетах использовались экспериментальные данные из работы [2].

Из уравнений (1) и (2) и вычисленными нами эмпирическими константами C_1 и C_2 был рассчитан один из параметров модели - доля флуктуационного объема f_g , замороженная при температуре стеклования (T_g), для указанных систем.

$$C_1 = 1 / f_g \quad (1)$$

$$C_2 = \beta_f / f_g \quad (2)$$

Располагая данными о f_g и T_g , можно оценить энергию процесса возбуждения атома [1,3]

$$\Delta \varepsilon_e \cong kT_g \ln(1 / f_g)$$

Значения коэффициента теплового расширения флуктуационного объема аморфных сплавов вблизи T_g рассчитывались по следующей формуле

$$\beta_f = 1 / C_1 C_2 \approx (2.0 - 2.8) \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

Прежде всего обращает внимание тот факт, что доля флуктуационного объема аморфных металлических сплавов, замороженная при температуре стеклования, слабо зависит от природы этих систем (табл.1)

$$f_g \approx \text{const} \approx 0.025 \div 0.027$$

и совпадает с данными для аморфных органических полимеров и неорганических стекол (табл. 2).

Таблица 1. Параметры теории флуктуационного свободного объема для металлических стекол

Аморфный сплав	c_1	c_2, K	f_g	β_f	$\beta_f T_g$	$\Delta \varepsilon_e$	U_∞	U_g
						кДж/моль		
Ni _{62.4} Nb _{37.6}	39.9	135	0.025	1.9	0.17	29	45	313
Ni ₇₅ Si ₈ B ₁₇	38.2	112	0.026	2.3	0.18	24	36	248
Fe ₈₉ B ₁₁	37.0	125	0.027	2.2	0.13	19	38	197
Fe _{41.5} Ni _{41.5} B ₁₇	37.8	119	0.026	2.2	0.16	22	37	226

Таблица 2. Постоянные уравнений Вильямса-Ландела-Ферри и параметры теории флуктуационного свободного объема для аморфных полимеров и неорганических стекол

Стекло	T_g , К	c_1	c_2 , К	f_g	$\beta_f \cdot 10^4$	$\Delta\beta \cdot 10^4$	$\Delta\varepsilon_e$	U_∞	U_g
					К ⁻¹				
Натуральный каучук	300	8.4	53.6	0.026	4.8	4	9.2	17	96
n-октиловый метакрилат-й полимер	253	7.0	107.3	0.027	2.5	2.5	7.5	33	78
Na ₂ O-SiO ₂	746	8	317	0.026	0.86	-	22.6	10	235
K ₂ O, мол. 8.5%	701	8.4	142.1	0.026	1.8	-	21.2	42	223

Вычисленные значения параметров модели для металлических стекол совпадают с данными для неорганических стекол и аморфных органических полимеров.

1. Сандитов Д.С. // Журнал экспериментальной и теоретической физики .Т. 150. №3. С. 501 (2016).
2. Судзуки К., Фузимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы. М.: Металлургия, 1987.
3. Сандитов Д. С., Дармаев М. В., Мантатов В. В. // Высокомолекулярные соединения. Серия А. Т. 58, № 2. С. 218 (2016).

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТА УБЕГАНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ НА ИХ ИОНИЗАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ

Мамонтов Ю.И.^{1*}, Лисенков В.В.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: mamontov.ura.1994@yandex.ru

EVALUATION OF INFLUENCE OF THE RUNAWAY ELECTRONS PHENOMENON ON THEIR IONIZATION ABILITY

Mamontov Y.I.^{1*}, Lisenkov V.V.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Electrophysics UD RAS, Yekaterinburg, Russia

The previously described algorithm for numerical simulation of electrons motion through a gas-filled accelerating gap has been applied to estimate the effect of the runaway electrons phenomenon on their ionization ability. It has been shown that when the runaway frequency reaches 10^9 s^{-1} the electron ionization ability and associated impact ionization coefficient start to decrease. This fact should be taken into account when gas discharge formation process is under consideration.

На динамику формирования импульсных самостоятельных разрядов, применяемых, например, для накачки газовых лазеров, может оказать существенное влияние явление убегания электронов. Так, в [1] показано, что при давлении газа вплоть до 40 атм. на начальной стадии формирования катодного слоя разряда складываются условия для перехода электронов в режим убегания. Чтобы оценить степень влияния этого явления на процесс развития разряда был применен написанный авторами [2] алгоритм, численно моделирующий движение электронов через газонаполненный ускоряющий промежуток методом Монте-Карло. В ходе исследования моделировалось движение электрона через азот и водород (давление газов — 1 атм., температура — 300 К) в однородном электрическом поле, при этом оценивалась ионизационная способность электронов. В результате была получена зависимость коэффициента ударной ионизации α от величины приведенной напряженности электрического поля E/N . Было проведено сравнение расчетных значений α с теоретическими аппроксимациями [3] и экспериментальными значениями α [4,5] для водорода и азота. Результаты исследования приведены на рис. 1.

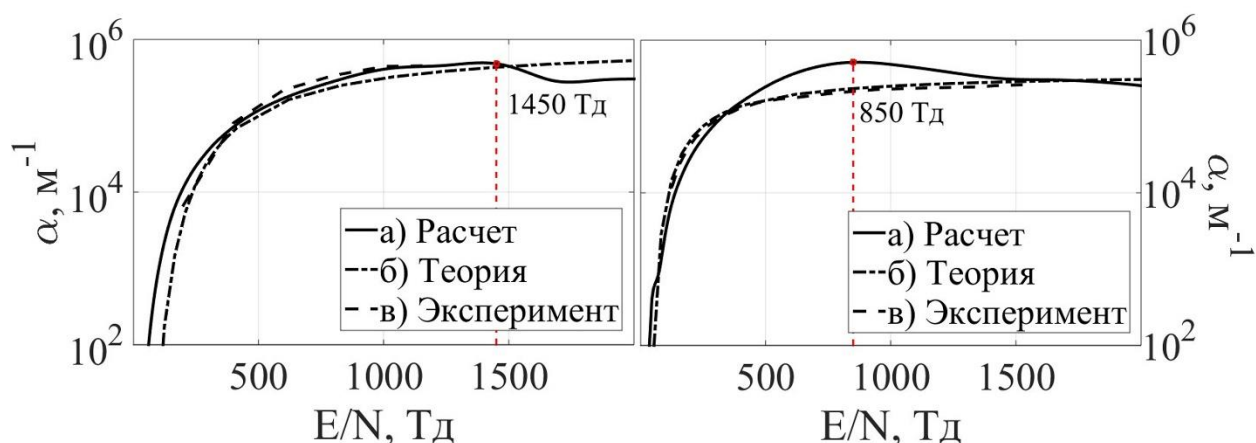


Рис. 1. Сравнение зависимостей коэффициента α (в м-1) от величины E/N (в Тд) в азоте (слева) и водороде (справа). Отмечены точки начала уменьшения α .

На рис. 1 видно, что расчетная зависимость $\alpha(E/N)$ согласуется с теоретической и экспериментальной зависимостями в области значений $300 \text{ Тд} > E/N > 1400 \text{ Тд}$ для азота и $100 \text{ Тд} > E/N > 400 \text{ Тд}$ для водорода. Однако при $E/N > 1450 \text{ Тд}$ в азоте и $E/N > 850 \text{ Тд}$ в водороде, вопреки теоретическим предсказаниям, наблюдается уменьшение α с увеличением E/N . Причиной этого является учет явления убегания электронов при проведении моделирования и последующем расчете коэффициента α . Данное явление приводит к быстрому набору энергии электроном и снижению величины эффективного сечения взаимодействия электрона с газом. Как следствие, увеличивается длина свободного пробега λ и дрейфовая скорость V электрона. Из-за увеличения λ снижается число актов ионизации, приходящееся на единицу длины пробега электрона, то есть, по определению, снижается α . Для указанных на рис. 1 точек были также оценены величины частот убегания ν_{esc} . Они оказались весьма близки друг к другу: $4 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ для водорода и 10^9 с^{-1} для азота. Можно сделать вывод, что при $\nu_{esc} \approx 10^9 \text{ с}^{-1}$ влияние явления убегания электронов на коэффициент α (и, следовательно, на ионизационную способность электрона) становится существенным, поэтому его учет необходим при рассмотрении процессов развития газовых разрядов.

Работа поддержана грантом РФФИ №16-08-00894-а.

1. Иванов С.Н., Лисенков В.В., ЖТФ, 80, 54 (2010).
2. Мамонтов Ю.И., Лисенков В.В., Пономарев А.В., Физика. Технологии. Инновации. Мат-лы IV Междунар. молодежной научной конф., 3, 88 (2017).
3. Райзер Ю.П., Физика газового разряда, Издательский дом «Интеллект» (2009).
4. Phelps A.V., Pitchford L.C., Phys. Rev. A, 31, 2932 (1985).
5. Davies D.E., Milne J.G.C., British J. of Appl. Phys., 10, 301 (1959).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИАМИННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Габдрахманов И.А., Мочалова Е.Н., Галиханов М.Ф., Галиханов Э.М.

Казанский Национальный Исследовательский Технологический Университет,
г. Казань, Россия

*E-mail: ildargabi8@gmail.com

RESEARCHING OF DIELECTRIC PROPERTIES OF EPOXYAMINE POLYMER MATERIALS

Gabdrakhmanov I.A., Mochalova E.N., Galikhanov M.F., Galikhanov E.M.

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Annotation. Dielectric properties of polymer materials based on epoxide oligomer and polyamine amide are studying. Via dielectric spectroscopy method it is proved that dipole groups orientation of epoxide polymer macromolecules fixed by third-dimensional grid and are carriers of thermoelectret charge occurs under polymer transition into electret state. Electret state of polymer matrix is characterized by a free state of epoxyamine macromolecules.

Исследования диэлектрических свойств электретных материалов позволяют получить обширную информацию о молекулярной структуре, межмолекулярных взаимодействиях, кинетике и механизмах молекулярных процессов в них. Интерес к исследованиям диэлектрических свойств эпоксидных полимеров обусловлен не только важностью этих характеристик для практического применения, но и для получения сведений о строении полимерных материалов [1, 2]. Метод диэлектрической спектроскопии широко применяется для изучения структуры и свойств различных материалов, в том числе и полимерных.

Цель работы – получение эпоксидных материалов в процессе совмещения отверждения смеси эпоксидного олигомера и отвердителя с поляризацией в постоянном электрическом поле и изучение диэлектрических свойств полученных образцов.

Объектами исследования были выбраны эпоксидный олигомер DER-331 (фирма Dow Chemical) и отвердитель диэтилентриамин (ДЭТА) (изучение термоэлектретов на их основе начаты в работе [3]). Диэлектрические измерения были выполнены в диапазоне частот от 1 Гц до 1 МГц с помощью диэлектрического спектрометра Novocontrol BDS Concept-80.

Перевод полимеров в электретное состояние отражается на их диэлектрических свойствах, поэтому методом диэлектрической спектроскопии были изучены эпоксидные материалы, не подвергавшиеся электретированию, а также термоэлектреты на их основе.

В настоящей работе методом диэлектрической спектроскопии доказана ориентация дипольных группировок макромолекул эпоксидного полимерного материала, характерная для электретного состояния полимерных диэлектриков. Сделан вывод о том, что электретное состояние полимерной матрицы, формирующейся в процессе отверждения и фиксирующейся трехмерной сеткой химических связей, является свободным состоянием эпоксиаминных макромолекул. Дипольные группировки, преимущественно ориентированные в одном направлении, «заморожены» в структуре сетчатого продукта отверждения, играя роль носителей заряда термоэлектрета.

1. Лимаренко Н.А., Мочалова Е. Н. и др., Вестник Казанского технологического университета, **16**, 2, 126 (2013).
2. Мочалова Е.Н., Галиханов М.Ф. и др., Бутлеровские сообщения, **49**, 1, 91 (2017).
3. Mochalova E.N., Limarenko N. et al., Polymer Science, Series D, **9**, 4, 396 (2016).

ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРЕТНЫХ СВОЙСТВ ПЕНОПОЛИЭТИЛЕНА ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ВСПЕНИВАНИЯ

Гильманов И.Р.*, Галиханов М.Ф., Гильманова А.Р., Дымова М.А.

Казанский научный исследовательский технологический университет

*E-mail: gilmanov_iskander@mail.ru

INTERRELATION OF ELECTRET PROPERTIES OF POLYETHYLENE FOAM FROM THE COEFFICIENT OF FOAMING

Gilmanov I.R.*, Galikhanov M.F., Gilmanova A.R., Dymova M.A.

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Annotation. In this work we research the interdependence of electret properties of PE foam from the technology and coefficient of foaming.

К традиционным областям применения электретов (материалов, являющихся источником постоянного электрического поля [1]) в последнее время добавляются новые – биотехнология, упаковка, легкая промышленность. Электреты можно изготовить на основе полимерных газонаполненных материалов, которые представляют собой гетерогенные системы, состоящие из твердой и газовой фаз [2-5]. Целью данной работы явилось нахождение зависимости электретных свойств вспененного полиэтилена от коэффициента вспенивания.

В работе исследованы электретные свойства коронозлектрета на основе пенополиэтилена (ППЭ) – потенциал поверхности V_s , эффективная поверхностная плотность заряда $\sigma_{эф}$ и напряженность электрического поля E . Методом после-

довательных срезов изучено распределение заряда по объему композиции. Методом ИК-спектроскопии (МНПВО) изучена химическая структура ППЭ до и после электретирирования.

Значения электретных характеристик для химически-сшитого (ХППЭ) приведены в таблице.

Электретные свойства химически-сшитого пенополиэтилена различных марок

Марка ППЭ	Степень вспенивания	Электретные свойства ППЭ на 120-е сутки		
		V_z , кВ	E , кВ/м	$\sigma_{эф}$, Кл/м ²
ХППЭ 1508	15	2,18	140	1,24
ХППЭ 3008	30	2,78	176	1,55
ХППЭ 4008	40	2,83	178	1,57

В работе установлено, что лучшие электретные характеристики ППЭ с большей кратностью вспенивания обусловлены двумя причинами. Во-первых, большим содержанием химического газообразователя (азодикарбонамида) и продуктов его разложения (уразол, циамелид, циановая кислота, циануровая кислота), которые не уходят из материала в процессе вспенивания и играют роль энергетических ловушек заряда. Во-вторых, большей протяженностью границы раздела фаз «полимер – газ», также выступающей источником ловушек заряда.

1. Sessler G.M., Electrets, Morgan Hill: Laplacian press (1998).
2. Xia, Z., J. Phys. D: Appl. Phys., 32, 83-85 (1999).
3. van Turnhout, J., Proc. Of 10th Int. Symp. on Electrets. Delphi, Greece, P. 785-788 (1999).
4. Galikhanov M.F., Dymova M.A. et al., International Polymer Science and Technology 39(8), 33-35 (2012).
5. Gilmanov I.R., Galikhanov M.F., et al., AIP Conference Proceedings, 1886, 020079 (2017).

РАСЧЁТ СЖИМАЕМОСТИ В РАСПЛАВЛЕННЫХ СМЕСЯХ ГАЛОГЕНИДОВ КАЛИЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

Татаринов А.С.^{1*}, Кобелев М.А.²

¹⁾Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: tolja170497@gmail.com

CALCULATION OF COMPRESSIBILITY IN MOLTEN MIXTURES OF POTASSIUM HALIDES BY MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION

Tatarinov A.S.^{1*}, Kobelev M.A.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of high-temperature electrochemistry Ural branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

Annotation. Calculation of the isothermal compressibility of molten potassium halides by the molecular dynamics method is carried out. It is shown that as the radii differences between the anions of the constituent binary mixture increase, the interparticle interactions in the system increase. This is manifested in a greater deviation from the additivity of the isothermal compressibility of the KCl-KI mixture as compared to the KBr-KI mixture.

Микроскопическая структура индивидуальных расплавленных солей и их смесей является объектом систематического исследования многие десятилетия. Развитие вычислительных методов позволяет проследить как изменения локального окружения влияют на формирование макроскопических свойств расплавов.

Цель данной работы представить молекулярно-динамический расчёт сжимаемости при различном анионном окружении в расплавах галогенидов калия.

Базовая кубическая ячейка, содержащая 3456 частиц, моделировалось в NVT-ансамбле при наложении периодических граничных условий. Взаимодействие частиц в ячейке описывалось парным потенциалом типа Борна-Майера-Хагинса в приближении Фуми-Тоси. Кулоновское взаимодействие учитывалось по методу Эвальда. Параметры парного потенциала для индивидуальных солей были взяты из [1], а для смесей расчёт параметров проводился в соответствии с процедурой, описанной в работе [2]. Объём базовой ячейки рассчитывался из данных по плотности индивидуальных солей в приближении аддитивности молярных объёмов.

Как известно, изотермическая сжимаемость χ_T может быть вычислена при анализе длинноволнового предела структурного фактора типа плотность-плотность $S^{NN}(k)$ по следующему выражению:

$$\lim_{k \rightarrow 0} S^{NN}(k) = \rho k_B T \chi_T,$$

здесь –численная плотность системы, k_B –постоянная Больцмана и температура системы, равная в данной работе $T=1200\text{K}$.

Зависимости структурного фактора $S^{NN}(k)$ от волнового вектора k были получены стандартным способом через Фурье-преобразование радиальных функций распределения, которые в свою очередь являются прямым результатом молекулярно-динамического моделирования галогенидных расплавов.

На рис. 1 представлены результаты расчёта изотермической сжимаемости в сопоставлении с имеющимися в литературе экспериментальными данными полученными из акустических измерений [3] для расплавленных смесей KCl-KI и KBr-KI, находящихся при температуре $T=1200\text{K}$.

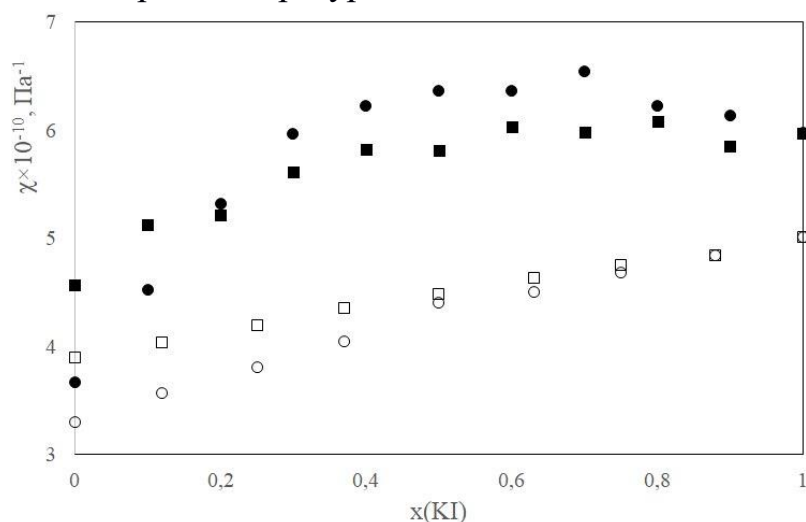


Рис. 1. Концентрационные зависимости изотермической сжимаемости, рассчитанные методом молекулярной динамики для смесей KBr-KI (заштрихованные квадратные маркеры), KCl-KI (заштрихованные круглые маркеры), в сравнении с экспериментальными данными KBr-KI (не заштрихованные квадратные маркеры) и KCl-KI (не заштрихованные круглые маркеры).

Из рисунка видно, что наблюдается удовлетворительное количественное согласие между расчётными значениями и экспериментальными данными, несмотря на то, что в работе использовалась, так называемая, модель жёстких ионов (RIM–rigid ion model) явно не учитывающая различия в поляризуемостях ионов. Следует отметить, что в смеси KCl-KI наблюдаемые отклонения от аддитивности выражены в большей степени, чем в смеси KBr-KI. Это указывает на более сложный характер межчастичных взаимодействий в смеси хлорида и иодида калия, которые могут приводить к формированию особенностей локального окружения на микроскопическом уровне.

1. Mayer J.E., J. Chem. Phys., 1. 270 (1933).
2. Larsen B., Forland T., Singer K., Mol. Phys., 26, 1521 (1973).
3. Минченко В.И., Степанов В.П., Ионные расплавы: упругие и калорические свойства, УрО РАН (2008).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ГЕЙСЛЕРА $\text{Ni}_{47-x}\text{Mn}_{42+x}\text{In}_{11}$ ($x = 0, 1, 2$)

Семянникова А.А.^{1*}, Емельянова С.М.², Марченков В.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: alenasem14@mail.ru

ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF HEUSLER ALLOYS

$\text{Ni}_{47-x}\text{Mn}_{42+x}\text{In}_{11}$ ($x = 0, 1, 2$)

Semyannikova A.A.^{1*}, Emelyanova S.M.², Marchenkov V.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ekaterinburg, Russia

The electrical and magnetic properties of $\text{Ni}_{47-x}\text{Mn}_{42+x}\text{In}_{11}$ ($x = 0, 1, 2$) Heusler alloys were studied. These alloys with a giant magnetocaloric effect (MCE) are of great scientific and practical interest due to their potential application in a field of magnetic refrigeration.

Магнитные материалы с гигантским магнитокалорическим эффектом (МКЭ) представляют большой научный и практический интерес благодаря их потенциальному применению в области магнитного охлаждения [1, 2]. Магнитное охлаждение [3] является экологически чистой и энергосберегающей технологией. Значительный магнитокалорический эффект ранее уже наблюдался в ферромагнитных сплавах Гейслера на основе Ni-Mn-Z ($Z = \text{Sn}, \text{Ga}, \text{In}$) [4]. Поэтому поиск новых составов сплавов с большим МКЭ, исследование их структуры, электрических и магнитных свойств – актуальная и интересная задача.

Были исследованы структурные, магнитные и электрические свойства, а также МКЭ сплавов Гейслера $\text{Ni}_{47-x}\text{Mn}_{42+x}\text{In}_{11}$ ($x = 0, 1, 2$), что и являлось целью данной работы. Элементный анализ показал, что составы всех сплавов соответствуют номинальному составу. Рентгеноструктурные исследования подтвердили наличие структуры $L2_1$ во всех образцах. Мерой МКЭ может служить изменение магнитной энтропии ΔS , которая была нами рассчитана по методике, описанной в работе [5].

В результате проведенных исследований установлено, что в сплаве $\text{Ni}_{47}\text{Mn}_{42}\text{In}_{11}$ с температурой Кюри $T_C = 338$ К наблюдается пик ΔS при $T = 310$ К с максимальным значением $\Delta S_{\max} = 14,2$ Дж/(кг·К) в поле 7 Т. Замена атомов Ni атомами Mn приводит в сплаве $\text{Ni}_{46}\text{Mn}_{43}\text{In}_{11}$ ($T_C = 328$ К) к уменьшению величины ΔS_{\max} до 8,5 Дж/(кг·К) и сдвигу пика в область более низких температур до 270 К, а для сплава $\text{Ni}_{45}\text{Mn}_{44}\text{In}_{11}$ ($T_C = 330$ К) ΔS_{\max} уменьшается до 3,6 Дж/(кг·К) со сдвигом максимума до 220 К. Результаты обсуждаются в

рамках современных представлений о МКЭ, а полученные новые экспериментальные данные могут быть использованы для практического применения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Спин», № 01201463330) при частичной поддержке РФФИ (проект № 18-02-00739), Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.A03.21.0006) и гранта № 14.Z50.31.0025 Министерства образования и науки РФ.

1. V.K. Pecharsky, K.A. Gschneider, *Phys. Rev. Lett.*, 78 (1997) 4494.
2. O. Tegus et. al., *Nature* (London), 415 (2002) 150.
3. K.A. Gschneider et. al., *Rep. Prog. Phys.*, 68 (2005) 1479.
4. J. Du et. al., *J. Appl. Phys.*, 40 (2007) 5523.
5. R.L. Wang et. al., *Solid State Commun.*, 151, (2011) 1196–1199.

MONTE CARLO STUDY OF MAGNETIC NANOPARTICLES ADSORBED ON HALLOYSITE $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ NANOTUBES

Sotnikov O.M.^{1*}, Mazurenko V.V.¹, Katanin A.A.^{2,1}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Metal Physics, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: oleg.sotn@gmail.com

Halloysite is natural biocompatible clay compound with multi-walled tubular form. It is wide spread and available at low price, which makes it attractive for both industry and research. This material found its application in medicine as container for drugs delivery. Load capability of halloysite nanotubes also allow to carry other functional compounds including catalysts and flame retardant agents [1]. Experiments show that the surface of halloysite is well suited for nanoparticles stabilization [2], which can be used for synthesis of nanotubes demonstrating magnetic properties.

This work is devoted to numerical study of magnetic nanoparticles (Fe, Co, Ni), adsorbed on halloysite surface. Existing experimental data for Ni nanoparticles is presented by hysteresis loops [2]. The classic inequilibrium Monte Carlo approach with solid angle restriction has been used for magnetization processes modeling. Hamiltonian of the system includes dipole-dipole interaction and field terms. The model also takes into account normally distributed sizes of nanoparticles and random orientation of their easy axes. The geometry of adsorbing surface is accounted in anisotropic dipole-dipole interaction:

$$J_{ij}^{\alpha\beta} = \frac{J_0}{R_{ij}^3} \left(\delta_{\alpha\beta} - \frac{3R_{ij}^\alpha R_{ij}^\beta}{R_{ij}^2} \right),$$

here R_{ij} and R_{ij}^α denote length and α -component ($\alpha = x, y, z$) of the vector, pointing from i -th to j -th particle, respectively; $\delta_{\alpha\beta}$ is Kronecker symbol and $J_0 = \langle \mu \rangle^2$, where $\mu_i \sim V_i$ is magnetic moment of nanoparticle which is proportional to the particle volume.

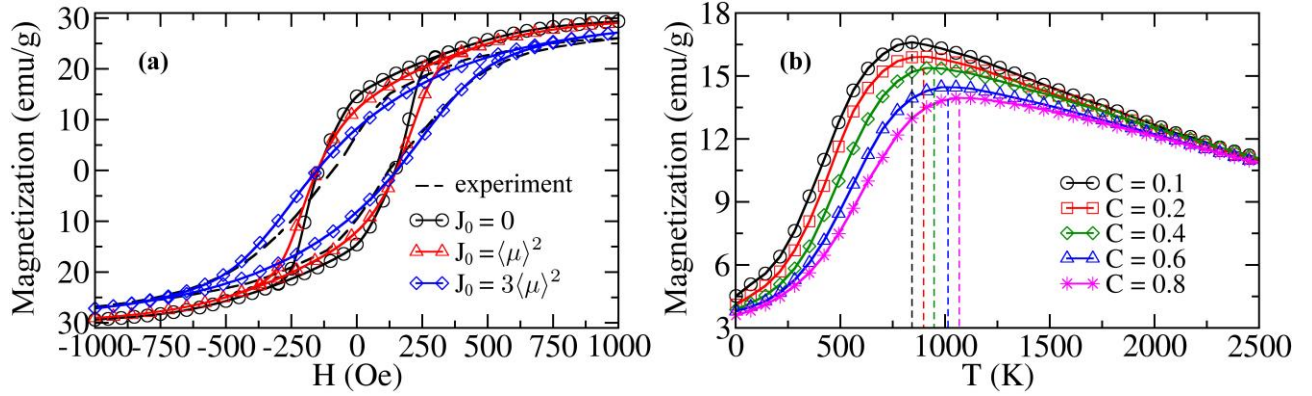


Fig. 1. Magnetic properties of Ni nanoparticles adsorbed on halloysite. (a) Hysteresis loops calculated for different values of J_0 and (b) ZFC-curves for different surface coverage.

Calculated hysteresis loops and ZFC (Zero Field Cooled) curves presented on Fig.1 are in good agreement with experimental data for Ni nanoparticles. It is clear, that the peak of ZFC curves moves to the region of high temperatures with increase of nanoparticles concentration, which can be interpreted as signature of superspin glass freezing. Using this approach, we also calculated hysteresis loops for Fe and Co nanoparticles and investigated influence of surface geometry on magnetic properties of the system.

This work was supported by the Russian Science Foundation, Grant 15-12-20021. Details of this research were published and available at Ref. [4].

1. Lvov Y., Wang W., Zhang L., Fakhrullin R., Adv. Mater., 28, 1227 (2016).
2. Fu Y., Zhang L., J. Nanosci. Nanotech., 5, 1113 (2005).
3. Pereira Nunes J.P., Bahiana M., and Bastos C.S.M., Phys. Rev. E, 69, 056703 (2004).
4. Sotnikov O.M., Mazurenko V.V., and Katanin A.A., Phys. Rev. B, 96, 224404 (2017).

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРЕТНОГО ЭФФЕКТА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЕЗЗОЛЕННЫХ ФИЛЬТРОВ

Волкова С.В., Мусина Л.Р.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Россия

*E-mail: svetlana-volkova-1994@mail.ru

INFLUENCE OF THE ELECTRICAL EFFECT ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE ASHLESS FILTERS

Volkova S.V., Musina L.R.

Kazan national research technological university, Kazan, Russia

Annotation. The effect of unipolar corona discharge treatment on the mechanical properties of ashless filters. It was found that giving samples to an electret state increases the mechanical strength of the filters.

Фильтрующие установки играют огромную роль в жизни человека. Они используются во многих сферах применения, таких как, медицина, пищевая промышленность, машиностроение и т.д. Одним из основных элементов таких установок является фильтровальная бумага. Уникальные свойства и строение фильтровальной бумаги позволяют отделять элементы твердого вещества от жидкости [1].

В последнее время особую популярность находят электретные полимерные фильтры для очистки жидкостей и воздушных сред. Диапазон применения электретных фильтров достаточно широк, поэтому их улучшение и оценка качества материалов являются на сегодняшний день весьма актуальными.

Целью данной работы является изучение влияния коронного разряда на прочностные характеристики обеззоленных фильтров.

Объектами исследования были обеззоленные фильтры «Черная лента» (ЧЛ) (ТУ 2642-001-4224157-98). В качестве определения механических характеристик были проведены испытания на сопротивление продавливанию (ГОСТ 26893-86) и сопротивление раздиранию (ГОСТ 13525.3-97).

Одним из важных технических параметров определяющих механическую прочность фильтровальной бумаги является сопротивление продавливанию (таблица 1).

Увеличение сопротивления продавливанию обусловлено тем, что при воздействии коронного разряда происходит выстраивание диполей полимера и осуществляется ориентирование под действием поля осаждаемых на поверхность зарядов [2]. Данные выводы позволяют нам предположить, что воздействие электрического поля способствует взаимному сближению фибрилл в структуре волокон листа и уменьшению межволоконного пространства.

Таблица 1. Результаты испытаний.

Наименование образцов	Сопротивление раздиранию (Метод Эльмендорфа), мН		Сопротивление продавливанию, МПа
	Машинное направление	Поперечное направление	
ЧЛ	1304	1369	178
ЭЧЛ	1231	1283	190

Доказательством возрастания межволоконных связей в структуре листа при воздействии коронного разряда служит испытание на сопротивление раздиранию по методу Эльмендорфа представленные в таблице 1.

Возрастаемые силы связи между волокнами при электретировании способствуют их прочному удержанию в структуре листа, в результате растягивающих нагрузок происходит не полное выдергивание, а их разрыв.

Наблюдение за механической прочностью обеззоленных фильтров, доказало увеличение прочностных характеристик, а значит, данное направление актуально.

1. Канарский, А.В. Фильтровальные виды бумаги и картона для промышленных технологических процессов, Экология, (1991).
2. Сесслер, Г., Электреты, Мир, (1983).

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВЫХ ТЕРМОЛЮМИНИСЦЕНЦИИ $\text{MgAl}_2\text{O}_4:\text{Gd}$ В РАЗНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПОЛОСАХ

Вагапов А.Ш., Киряков А.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: Alexander1705q@icloud.com

INVESTIGATION OF THERMOLUMINESCENCE CURVES OF $\text{MgAl}_2\text{O}_4:\text{Gd}$ IN DIFFERENT SPECTRAL BANDS

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The aluminum magnesium spinel nanopowder was synthesized by the sol-gel method. The TL curve was measured. It was found out that doping the alumomagnesium spinel with gadolinium leads to the appearance of additional peaks at 310 and 457 nm, while the pure spinel gives peaks at 645 and 680 nm.

Алюомагниева шпинель перспективна для её использования в качестве матрицы для легирования как ионами переходных металлов, так и редкими зем-

лями (P3). [1-4] Известно, что P3 ионы имеют сильную люминесценцию, вызванную переходом электрона из возбужденного состояния в стационарное, а влияние матрицы на такие переходы активно исследуется. В связи с этим целью работы было изучение кривых термолюминесценции алюмомагниевого шпинели легированной ионами гадолиния в различных спектральных полосах.

Нанопорошок алюмомагниевого шпинели получен золь-гель методом из $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Компактирование проводилось на одноосном изостатическом прессе при давлении 500 МПа. Спектры ТЛ получены на спектрометре LS-55 Perkin Elmer. Нагрев осуществлялся в экспериментальной печи с нихромовым нагревателем. Для возбуждения сигнала ТЛ образцы облучались при комнатной температуре электронным пучком ускорителя с длительностью импульса 2 нс и средней энергией электронов 130 кэВ при плотности тока 60 А/см^2 . Кривые ТЛ в различных спектральных полосах измерялись при нагреве со скоростью 2°C/s в температурном диапазоне 30-450 $^\circ\text{C}$.

Облучение чистой алюмомагниевого шпинели приводит к появлению пиков термолюминесценции в полосах 645 и 680 нм. (рис. 1) Легирование алюмомагниевого шпинели одним весовым процентом гадолиния приводит к появлению дополнительных пиков в 310 и 457 нм. (рис. 2)

Известно, что в алюмомагниевого шпинели люминесценцию в красном диапазоне спектра могут вызывать примеси ионов переходных металлов [1-3]. В наших образцах по данным химического анализа примесь титана существенно выше остальных элементов, и вероятнее всего именно ей обусловлена люминесценция в полосах 645 и 680 нм.

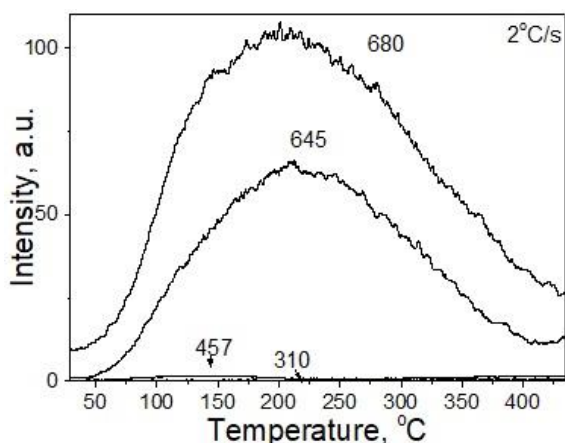


Рис. 1. Кривые ТЛ в полосах для MgAl_2O_4

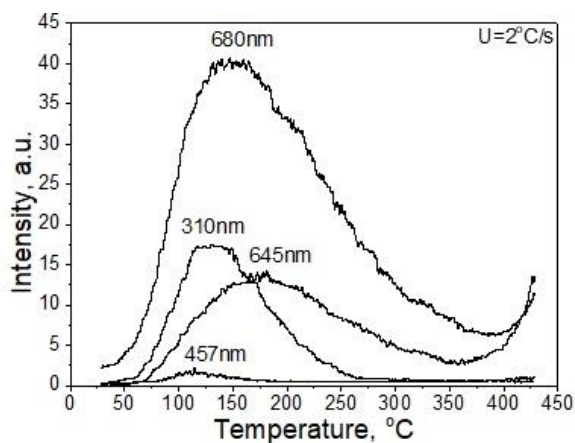


Рис 2. Кривые ТЛ в полосах для $\text{MgAl}_2\text{O}_4:\text{Gd}$

Появление люминесценции в 310 нм вызвано переходом между первым возбужденным состоянием ($^6\text{P}_{7/2}$) и основным ($^8\text{S}_{7/2}$) в ионах Gd^{3+} . [4] Для опреде-

ления точной позиции примесного иона гадолиния в матрице шпинели необходимы дополнительные исследования.

В образцах, легированных гадолинием, отмечается небольшой рост ТЛ в полосе 457 нм. Известно, что свечение в указанной полосе может быть вызвано собственными дефектами кислородной подрешетки шпинели (F-центр, вакансии кислорода с двумя захваченными электронами). Частично F-центры могут возбуждаться при реадсорбции термостимулированной люминесценции ионов гадолиния, вызывая при этом слабое свечение F центров шпинели.

1. Kingsley J. J., Manickam N. et al., Bul. of Mat. Scien., 13, 179 (1990).
2. Zhong R. et al., Chem. Phys. Let., 508, 207 (2011).
3. Bausa L. E. et al., Jour, of Appl. Phys., 68, 736 (1990).
4. Singh V. et al. Jour, of Lum., 143, 162 (2013).

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ, НЕМАТИЧЕСКИХ И СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА МЕТОДОМ ВАРИАЦИОННОГО КЛАСТЕРНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Жумагулов Я.В.^{*}, Неверов В.Д., Лукьянов А.Е., Красавин А.В.

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
г. Москва, Россия

*E-mail: yaroslav.zhumagulov@gmail.com

STUDY OF MAGNETIC, NEMATIC AND SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF IRON-BASED HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS: VARIATIONAL CLUSTER APPROXIMATION

Zhumagulov Ya.V.^{*}, Neverov V.D., Lukyanov A.E., Krasavin A.V.

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

A class of high-temperature superconductors (HTSC) based on iron was discovered in 2008 [1]. Although more than nine years have elapsed since the discovery, an unambiguous microscopic theory explaining the complex phase diagrams of this class of superconductors has not yet been created [2]. This work is aimed at restoring the phase diagram of iron-based HTSC at zero temperature by variational cluster approximation [3].

Класс высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) на основе железа был открыт в 2008 году [1]. ВТСП на основе железа обладают квазидвумерной структурой, построенной на основе FeAs (FeSe) плоскостей, а также являются среднекоррелированными системами [2, 3]. Хотя с момента открытия прошло более девяти лет, однозначной микроскопической теории, объясняющей слож-

ные фазовые диаграммы данного класса сверхпроводников, до сих пор не создано [4]. В настоящее время существует огромный интерес научного сообщества, направленный на решение различных мультиорбитальных моделей ВТСП на основе железа [5]. Большинство исследований, однако, ввиду различных факторов, ограничены учетом лишь локальных электронных корреляций, что лишь частично отображает физику данных систем. Для правильного воспроизведения поверхности Ферми и зонной структуры необходимо решить модель, учитывающую ближние корреляции [6]. Вариационное кластерное приближение (VCA), развитое в [7], позволяет точно учесть динамику корреляций и корректно описать фазовые переходы в системе с помощью нахождения стационарных точек функционала Поттхофа. В настоящей работе VCA используется для решения и получения фазовой диаграммы как двух-, так и трехорбитальной модели [5] с учетом ближних электронных корреляций (рис. 1).

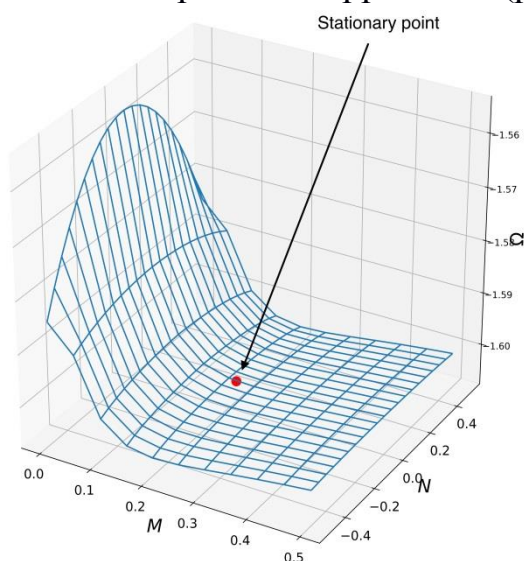


Рис. 1. Зависимость большого термодинамического потенциала от параметра антиферромагнитного упорядочения и поляризации орбиталей для двухорбитальной модели ВТСП на основе железа [7]. Красным обозначена стационарная точка функционала Поттхофа, соответствующая наличию антиферромагнитного упорядочения и отсутствию поляризации орбиталей.

1. Y. Kamihara et al., J. Am. Chem. Soc. 130, 3296 (2008).
2. Special issue of Physica C 468 (2009).
3. Special issue of New Journal of Physics 11 (2009).
4. E. Dagotto, Rev. Mod. Phys. 85, 849 (2013).
5. R. Fernandes, A. Chubukov, Rep. Prog. Phys. 80, 014503 (2017).
6. M. Daghofer et al., Phys. Rev. B 81, 014511 (2010).
7. Potthoff M. et al., Phys. Rev. Lett. 91, 206402 (2003).

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА УПОРЯДОЧЕННЫХ ПО ТИПУ L1₀ СПЛАВОВ МЕДЬ-ЗОЛОТО

Глухов А.В.^{1*}, Волков А.Ю.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов УрО РАН им. М.Н. Михеева, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: glukhov@imp.uran.ru

STRUCTURE AND PROPERTIES OF COPPER-GOLD ALLOYS ORDER BY L1₀ TYPE

Glukhov A.V.^{1*}, Volkov A.Yu.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

In this paper, the results of measurements of mechanical and electrical properties are presented. X-ray diffraction analysis was carried out, the microhardness of the samples was measured, and the structure of Cu-80 wt. % Au was studied. The results obtained were compared with the results for the alloy Cu-75 wt. % Au.

В настоящее время сплавы на основе системы медь-золото нашли широкое практическое применение. Их используют в производстве электрических контактов, высокоомных резисторов, в измерительных и полупроводниковых приборах. С древнейших времен известны ювелирные сплавы на основе золота. Разработана широкая гамма стоматологических золотых сплавов.

Сплавы медь-золото обладают рядом свойств, не присущих чистому золоту: повышенными твердостью и прочностью, стойкостью к механическому и электрическому износу. Характерной особенностью сплавов Cu-Au является значительное изменение электрических и механических свойств при термообработке, что вызвано процессами атомного упорядочения.

Целью данного исследования являлось изучение структуры и свойств сплава Cu-80масс.%Au и сопоставление кинетики атомного упорядочения этого сплава с хорошо изученным ранее сплавом Cu-75масс.%Au.

Для исследования структуры и свойств в работе использовались образцы сплавов в двух исходных состояниях: разупорядоченном и упорядоченном по типу L1₀. Разупорядоченное состояние формировалось либо путем закалки от высокой температуры, либо в результате интенсивной пластической деформации. Состояние с высокой степенью атомного дальнего порядка достигалось в ходе отжига ниже критической температуры упорядочения сплава (T_c). В ходе исследования было установлено, что скорость атомного упорядочения исследуемого сплава много ниже, чем в известном сплаве Cu-75масс.%Au.

Механические испытания на растяжение показали, что в упорядоченном состоянии сплав Cu-80масс.%Au имеет следующие прочностные свойства: предел текучести $\sigma_{0,2}=710$ МПа, предел прочности $\sigma_B=1140$ МПа. Удельное электросопротивление упорядоченного сплава Cu-80масс.%Au составляет: $\rho = 8,5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, что практически в два раза ниже величины удельного электросопротивления этого сплава, разупорядоченного закалкой от 700°C : $\rho = 14,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. В работе построены температурные зависимости электросопротивления образцов сплавов, находящихся в разных исходных состояниях. К примеру, на рисунке 1 представлена температурная зависимость электросопротивления, полученная при нагреве и охлаждении со скоростью 120 град/час сплава Cu-80масс.%Au, который в исходном состоянии был разупорядочен в результате пластической деформации 90%. На основе полученных данных рассчитаны температурные коэффициенты электросопротивления (ТКЭС). К примеру, для сплава Cu-80масс.%Au в хорошо упорядоченном состоянии $\alpha = 9,25 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$.

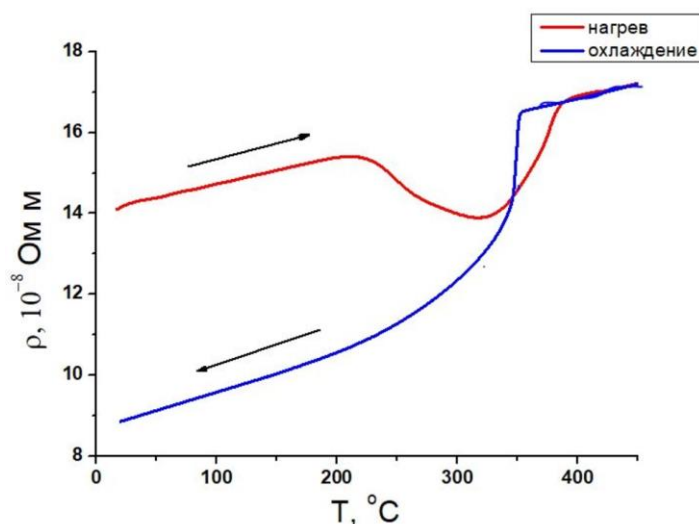


Рис. 1. Температурные зависимости электросопротивления при нагреве и охлаждении исходно деформированного сплава Cu-80масс.%Au

В результате проведенного исследования установлено, что упорядоченный по типу $L1_0$ сплав Cu-80масс.%Au обладает более высокими по сравнению с Cu-75масс.%Au механическими свойствами, однако его удельное электросопротивление несколько выше. Показано, что критическая температура упорядочения сплава Cu-80масс.%Au составляет: $T_c \approx 385^\circ\text{C}$.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема "Давление") и при финансовой поддержке проекта УрО РАН №18-10-2-24.

1. В.М. Малышев, Д.В. Румянцев Золото, Металлургия, М., 288 (1979).

АНАЛИЗ ОРИЕНТИРОВОК ТОНКОЙ ПЛЁНКИ PZT С 10% La ПРОСВЕЧИВАЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИЕЙ

Колосов В.Ю.¹, Жигалина О.М.², Хмеленин Д.Н.², Бокуняева А.О.^{1*}

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт кристаллографии имени А.В. Шубникова Российской академии наук,
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Москва, Россия

*E-mail: a.o.bokuniaeva@urfu.ru

ORIENTATION ANALYSIS OF A PZT THIN FILM WITH 10% La BY TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPY

Kolosov V.Yu.¹, Zhigalina O.M.², Khmelenin D.N.², Bokuniaeva A.O.^{1*}

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) FSRC “Crystallography and Photonics” RAS, Moscow, Russia

Thin PZT films are one of the prominent materials in majority of chips and devices due to their ferroelectric properties. The main goal of this paper is analysis of orientations of the structure of crystals in a thin PZT ($\text{PbZr}_{0.53}\text{Ti}_{0.47}\text{O}_3$) film with 10% La content. For this purpose we used the stereographical projection, extinction bend contours and transmission electron microscopy.

Пленки титаната–цирконата свинца (ЦТС) широко известны в качестве материалов, применяющихся в устройствах энергонезависимой памяти и других микроэлектронных устройствах [1]. Сегнетоэлектрические свойства плёнок ЦТС очень чувствительны к различного рода добавкам. В нашем случае образец содержит в своём составе 10% La.

Исследование проводилось методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с помощью микроскопов FEI Tecnai G²30 ST, FEI Tecnai Osiris с ускоряющим напряжением 300 и 200 кВ соответственно. Также в ходе работы были использованы стереографическая проекция и экстинкционные изгибные контуры.

Исследуемый образец был получен методом химического осаждения [2]. Пленки наносили по несколько слоёв на многослойные подложки $\text{Si-SiO}_2(300\text{nm})$ - $\text{TiO}_2(10\text{ nm})$ - Pt (150 nm), затем отжигали при температуре $T = 650^\circ\text{C}$ и 750°C для получения кристаллической фазы.

Изгибные экстинкционные контуры выглядят как яркие тёмные линии на микроснимках в режиме светлого поля. Изгибные экстинкционные контуры представляют собой дифракционное отражение от различных семейств атомных плоскостей. Они наблюдаются в областях кристаллов, в которых электронный пучок пересекается с каким-либо семейством атомных плоскостей под брэгговским углом, который не превышает нескольких градусов для случая дифракции электронов. Пересечению изгибных экстинкционных контуров соответствует

зонно-осевая картина (ЗОК). В нашем образце ЗОК располагаются закономерно, что упрощает процесс их идентификации, рис. 1.

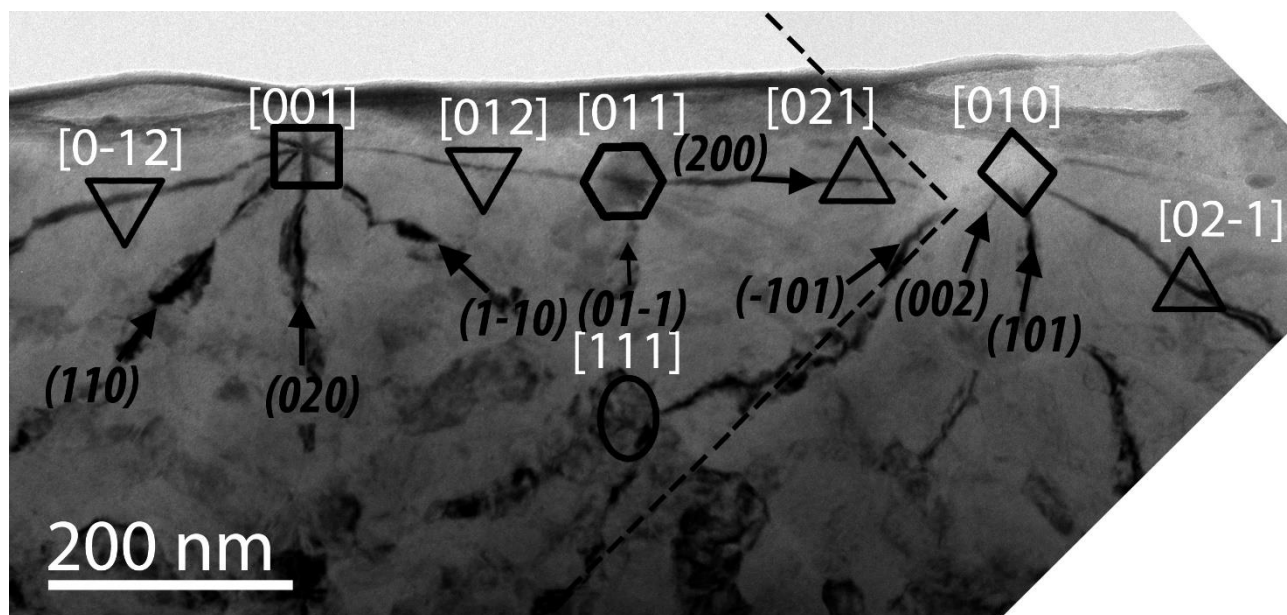


Рис. 1. Микроснимок образца с идентифицированными осями зон и некоторыми контурами. Некоторые проиндцированные контуры указаны стрелками, пунктирная линия соответствует границе между смонтированными снимками.

В результате анализа нами были определены следующие оси зон: $[001]$, $[011]$, $[0-12]$, $[012]$, $[111]$, $[021]$, $[010]$, $[02-1]$. Были определены следующие атомные плоскости: (200) , (110) , (020) , $(1-10)$, $(01-1)$, (-101) , (002) , (101) , рис.1. $[0-12]$, $[001]$, $[012]$, $[011]$ были идентифицированы по снимкам дифракции. Остальные были найдены по взаимному расположению изгибных экстинкционных контуров, как симметричные уже известным ЗОК и по примерному расположению на стереографической проекции, (например, $[021]$, $[010]$, $[02-1]$) и как пересечение соответствующих экстинкционных изгибных контуров.

Некоторые закономерно чередующиеся ЗОК в нашем образце расположены настолько близко друг к другу, что снимки электронной дифракции представляют собой суперпозицию нескольких ориентировок, каждая из которых требует отдельной идентификации.

1. Setter N., Damjanovic D., Eng L., Fox G., Gevorgian S., Hong S., Kingon A., Kohlstedt H., Park N. Y., Stephenson G. B., Tagantsev A. K., Taylor D. V., Yamada T., Stolitchnov I., Streiffer S., J. Appl. Phys., 100(5), 051606 (2006).
2. Pawlaczyk, C. Z., Tagantsev, A. K., Brooks, K., Reaney, I. M., Klissurska, R., & Setter, N., Integr. Ferroelectr. 9(4), 293-316 (1995).

КОРА ПЛАВЛЕНИЯ МЕТЕОРИТА ЦАРЕВ L5: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Копысов А.С.*, Петрова Е.В., Смирнов В.А., Кокорин А.Ф.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: andreykopisov@yandex.ru

METEORITE TSAREV L5 FUSION CRUST: EXPERIMENTAL RESULT AFTER THE THERMAL IMPACT

Kopisov A.S.*, Petrova E.V., Smirnov V.A., Kokorin A.F.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

We studied the structure of the Tsarev L5 meteorite sample fusion crust using optical and electron microscopy.

Все метеориты на больших скоростях проходят сквозь слои земной атмосферы. В результате аэродинамической нагрузки формируется микроструктура многофазного материала. Задержавшийся на поверхности метеорного тела тонкий расплавленный слой метеоритного вещества затвердевает, образуя тонкую оболочку, называемую корой плавления. Этот процесс протекает очень быстро, на протяжении десятых долей секунды. Целью данной работы является изучение микроструктуры коры плавления метеорита Царёв [1].

Данный метеорит относится к группе ударно – измененных хондритов L5. В результате интенсивного удара порядка $80 \cdot 10^9$ Па в метеорите произошли изменения не только текстурно – структурного характера, но и химического состава железо – магнезиальных силикатов по сравнению с обыкновенными хондритами группы L5, не испытавшими сильного удара [2].

Внешняя структура экспериментального образца представляет из себя повторно нагретое вещество. Время нагрева до момента плавления коры составило 15 секунд, данный образец потерял свой вес на 0,25 г.

В результате получены микроскопические изображения текстуры коры плавления метеоритов полученной после нагрева на плазмотроне. Во фрагменте метеорита Царев L5 толщина внешней коры плавления не превышает десятых долей миллиметра. При этом пористость коры плавления выше, чем исходного материала. Поры круглые, размером сотые и тысячные доли миллиметра.

В зоне нагрева происходит расплавление металла и троилита, которые затекают в трещины в силикатах. Рост дендритов магнезиоферрита ($MgFe_2O_4$) на поверхности коры плавления возникает при медленном остывании расплавленного материала.

Результаты распределения химических элементов и спектр распределения элементов в метеорите Царев составил: кислород - 24.13 %; магний - 2.71 %; алюминий - 3.28 %; кремний - 7.82 %; калий - 1.33 %, кальций - 0.59 %; железо - 60.14 % (вес.).

Обычно у каменных метеоритов толщина внешней коры плавления составляет десятые доли миллиметра. Внешние зоны пористые размером от 5 до 20 мкм, количество пор достигает 45%. Поры круглые, закрытые, размером сотые и тысячные доли миллиметра.

Внутренняя структура представляет собой упорядоченные дендритные кристаллы, которые сформировались при остывании, средний размер кристаллов 500 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (базовое финансирование по проекту № 3451) и Правительства Российской Федерации, Акт 211, Соглашение № 02.А03.21.0006.

1. Витязев А.В., Печерникова Г.В., Сафронов В.С. Планеты земной группы: Происхождение и ранняя эволюция. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 296 с (1990).
2. Додд Р.Т. Метеориты: Петрология, Геохимия. М.: Мир, 384 с. (1986).

SPIN S=1 CHAIN MODEL FOR BaMoP₂O₈

Badrtdinov D.I.^{1*}, Hembacher J.², Mazurenko V.V.¹, Tsirlin A.A.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ University of Augsburg, Augsburg, Germany

*E-mail: reason2205@yandex.ru

Low dimensional systems attract a lot of attention due to formation of nontrivial magnetic orders such as spin-spiral and spin liquid states, skyrmion lattices, etc. The system BaMoP₂O₈, having the monoclinic C2/m space group, is suggested to be quasi-two-dimensional (2D), where molybdenum atoms form triangular lattice [1].

Within this work the powder sample of BaMoP₂O₈ was synthesized, thermodynamic measurements revealed the formation of long range magnetic order with Neel temperature T_N ~ 21K. Further investigation by neutron diffraction experiment identified the magnetic reflection at 17.5°, which obeys to magnetic symmetry with propagation vector **k** = (1/2, 1/2, 1/2). The value of magnetic moment 1.48μ_B decreases with increasing temperature, finally disappearing at T_N = 21.4K (Fig.1).

As for theoretical part, density functional calculations within generalized gradient approximation (GGA) elucidate the energy bands near the Fermi level, which corre-

spond to the $\text{Mo}(t_{2g})$ states hybridized with $\text{O}(p)$ states. Using Wannier functions as a basis for construction of low energy states near the Fermi level, we evaluated magnetic form-factor and performed refinement procedure of the neutron diffraction spectra. Taking correlation effects into account within GGA+U method, we estimated individual exchange integrals for our magnetic model. Interesting to note that these calculations give us quasi-one-dimensional chains with main exchange integral $J_2 = 4.6$ meV. This model differs from expected 2D picture, which we concluded from the analysis of crystal structure. Constructed chain model was solved within quantum Monte Carlo (QMC) approach, and obtained magnetic susceptibility shows qualitative agreement with experiment (Fig.1). The maximum of curve is shifted to 20 K, which might be result of the presence of quantum fluctuations and magnetic frustrations, realizing in BaMoP_2O_8 [2].

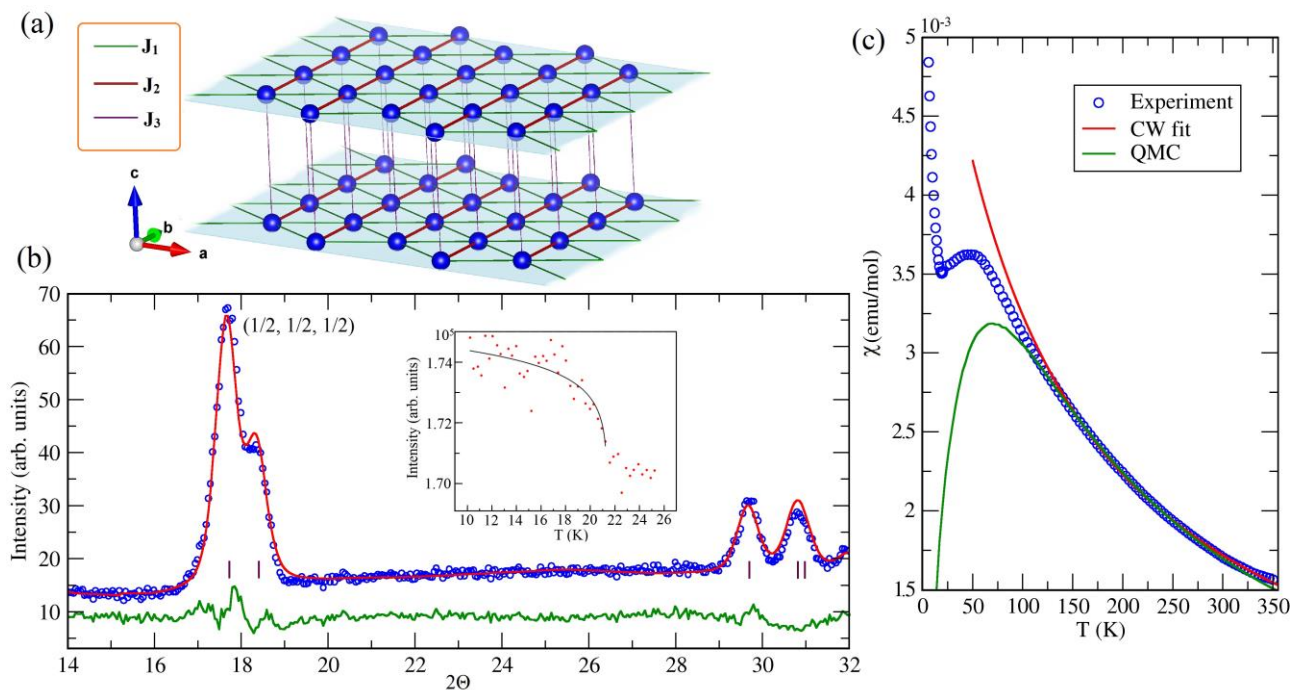


Fig. 1. (a) Constructed magnetic model of BaMoP_2O_8 ; (b) The spectra of neutron diffraction experiment (blue circles) measured at 1.5 K after subtracting the paramagnetic background of 30 K and refinement result (red line). The insert shows the dependence of magnetic reflection on temperature; (c) Experimental magnetic susceptibility in comparison with theoretical approximations.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-32-00018

1. Leclaire A. et al., Journal of Solid State Chemistry 116, 364 (1995).
2. Irkhin V.Yu., Katanin A.A. Phys. Rev. B 55, 12318 (1997).

LUMINESCENCE OF Er^{3+} IONS IN SrF_2 CRYSTALS UNDER X-RAY, ULTRAVIOLET AND INFRARED EXCITATION

Kiselev S.A.^{*}, Pustovarov V.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: svyat-kiselyov@yandex.ru

Luminescent spectroscopy of crystals doped with ions of rare earth elements (REE), is a major field of research in the search of luminescent materials that are widely used in many branches of science and industry. Primarily application is found in quantum electronics, in the development of lasers, and, in addition, in nuclear instrumentation, medicine and technical field.

The aim of this work was to research the luminescence of Er^{3+} (1%) ions in single crystals of SrF_2 at different energies of the exciting electromagnetic radiation from X-Ray to IR range. Optically transparent crystals $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$ (1%) were grown at the Experimental plant GIREDMET (Russia, Verkhnyaya Pyshma) by using Stockbarger's method [1]. The samples were certified with X-ray diffraction, UV/VIS absorption spectroscopy and chemical analysis methods.

Absorption spectrum ($T = 295$ K), spectra of photoluminescence (PL) under UV excitation as well as under IR excitation (Anti-Stokes luminescence, $\lambda_{\text{exc}} = 980$ nm laser diode), spectra of X-ray excited luminescence (XRL) in region of 1.5-5.5 eV, PL excitation spectra and thermoluminescence curves in temperature region of 90-500 K were measured.

Some of the main results of the research are presented in Figure 1.

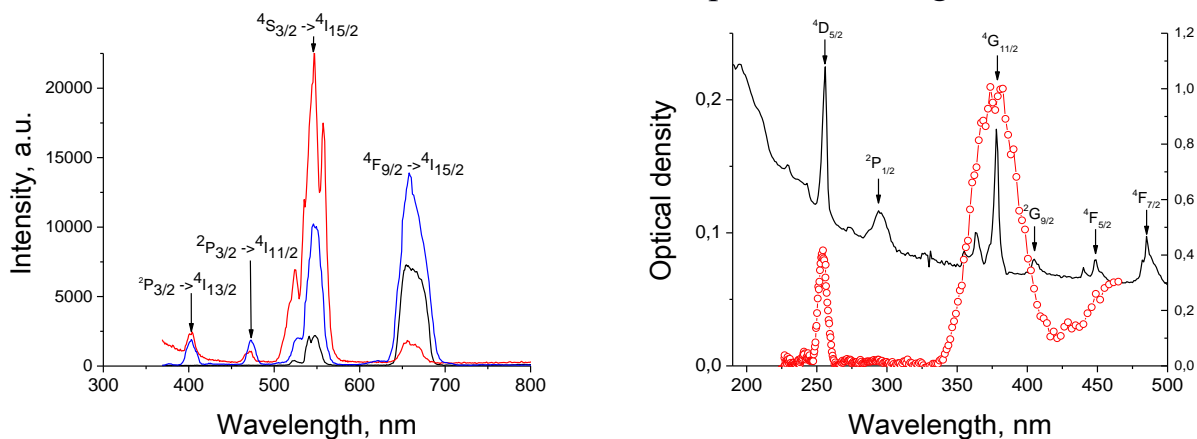


Figure 1. a – Anti-Stokes luminescence (black, $\lambda_{\text{exc}} = 980$ nm), PL (blue, $\lambda_{\text{exc}} = 255$ nm) and XRL (red) spectra; b – absorption (black) and PL excitation (red, $\lambda_{\text{emis}} = 660$ nm) spectra $\text{SrF}_2:\text{Er}^{3+}$ (1%) at room temperature

Stokes PL spectra at different energies of exciting photons and XRL spectra contain a set of narrow lines corresponding to radiative intraconfigurational transitions in the Er^{3+} lines. Identification of radiative transitions is shown in Fig. 1-a. Two dominant lines are determined by the electronic transitions of $4F_{9/2} \rightarrow 4I_{15/2}$ (660 nm) и

$^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ (545 nm). By UV- or IR-excitation in luminescence spectrum line $^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ prevails, and in XRL spectrum the redistribution of the probability of electronic transitions is seen. This indicates that the population of certain excited states of Er^{3+} ion at inner-centre excitation or as a result of recombination of band charge carriers has different probability. These excited states of impurity centre are manifested both in the absorption spectrum and PL excitation spectra. Based on Dike's diagrams the identification of these excited states is shown in Fig. 1-b.

At lower temperatures $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ line's intensity increases and $^4F_{9/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ line's intensity decreases. The redistribution of states' electrons population is occurred. The study of thermally stimulated luminescence shows effective light storage, the recombination of charge carriers occurs at the Er^{3+} centers. The trapping parameters of the charge carriers were calculated by the methods of Lushchik and Urbach.

Thus, during this research the luminescence of Er^{3+} ions in single crystals of SrF_2 under different excitation was investigated and the dependence of this luminescence on the excitation energy and temperature was traced.

1. Vilke, K.T. Crystal growing / K.T. Vilke. – L.: Nedra, 1977. – 587 p.

2D DENDRITE SHAPE IN THE LARGE CHEMICAL PÉCLET NUMBER LIMIT

Titova E.A.^{1*}, Alexandrov D.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: ekatitova@mail.ru

Dendrites growing in an supersaturated alloy have a shape given by the solution of nonlinear integrodifferential equations. We show that in the limit of large chemical Péclet number these equations can be solved and the shape of the dendrite can be found.

The equation (1) describes the shape of the two-dimensional growing dendrite as a function of supersaturation in steady-state non-equilibrium conditions [1]:

$$-\frac{Q}{m_v c_p} \left[\Delta - \frac{d_c}{\rho} K - \beta V \right] - C_{l\infty} = I_{\zeta}^{CH}, \quad (1)$$

$$I_{\zeta}^{CH} = \frac{P_c(1 - k_v(V))}{\pi \sqrt{1 - P_c \tau_*}} \int_{-\infty}^{\infty} K_0 \left(\frac{P_c \sqrt{b_H}}{1 - P_c \tau_*} \right) C_i(x_1) \exp \left(- \frac{P_c(\zeta(x) - \zeta(x_1))}{1 - P_c \tau_*} \right) dx_1 \quad (2)$$

where ζ is a moving phase transition interface, V - constant velocity of growth,

$$P_c = \frac{\rho V}{2D_c} = \left(\frac{V}{V_D} \right)^2 \frac{1}{\tau_*}$$

- chemical Péclet number, V_D - diffusion speed, C_i - interfacial concentration, $b_H = (1 - P_c \tau_*)(x - x_1)^2 + (\zeta(x) - \zeta(x_1))^2$ and K is an interfacial curvature.

The modified Bessel function of zero order can be asymptotically evaluated at large Péclet number limit:

$$K_0 \left(\frac{P_c \sqrt{b_H}}{1 - P_c \tau_*} \right) \approx \sqrt{\frac{\pi(1 - P_c \tau_*)}{2P_c \sqrt{b_H}}} \exp \left(- \frac{P_c \sqrt{b_H}}{1 - P_c \tau_*} \right). \quad (3)$$

Substitution eq. (3) in eq. (2) leads to Laplasian integral which can be calculated with a saddle-point technique:

$$I_\zeta^{CH} = \frac{(1 - k_v(V))C_i(0)\sqrt{1 - P_c \tau_*}\sqrt{b_H}}{\sqrt{(1 - P_c \tau_*)(\zeta(x) - \zeta(0))^2 - \zeta''(0)b_H(\sqrt{b_H} + \zeta(x) - \zeta(0))}} \times \\ \times \exp \left(\frac{P_c(\zeta(x_1) - \zeta(x) - \sqrt{b_H})}{1 - P_c \tau_*} \right) \quad (4)$$

Combining (4) and (1) we get a second order differential equation:

$$\frac{\rho}{d_c} \left(\Delta - \beta V + \frac{m_v}{T_Q} (I_\zeta^{CH} + C_{l\infty}) \right) = K = - \frac{\zeta''(x)}{(1 + (\zeta'(x))^2)^{3/2}} \quad (5)$$

Numerically calculated from eq. (5) interfacial function ζ is close to the branch of a circle. This result is in a good agreement with limiting case of the steady-state solidification conditions with high Péclet numbers [1].

This work is supported by the Russian Science Foundation (grant no. 16-11-10095).

1. Galenko P.K, Alexandrov D.V. and Titova E.A., Phil. Trans. R. Soc. A, (2017).

ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИЧЕСКИХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАНОСТРУКТУРНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА ОТ КИСЛОТНО- ЩЕЛОЧНОГО СОСТОЯНИЯ ИСХОДНОГО РАСТВОРА ПРИ ЗОЛЬ- ГЕЛЬ СИНТЕЗЕ

Дорошева И.Б.^{1,2*}, Валеева А.А.¹, Ремпель А.А.¹

¹⁾ Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: i.b.dorosheva@urfu.ru

DEPENDENCE OF PHYSICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF NANOSTRUCTURAL TITANIUM DIOXIDE SYNTHESIZED BY SOL-GEL METHOD FROM ACID-ALKALINE STATE OF INITIAL SOLUTION

Dorosheva I.B.^{1,2*}, Valeeva A.A.¹, Rempel A.A.¹

¹⁾ Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Titanium dioxide (TiO₂) was synthesized by sol-gel method at different values of pH = 3, 6, 8, 9, or 10. X-ray phase analysis has shown that in an acid rout an anatase phase was crystallized, and in an alkaline rout an amorphous phase of TiO₂ was achieved. The synthesized powders are differ in the average size of the nanoparticles (7-49 nm), the specific surface area (77-140 m²/g) and the band gap before and after annealing (3.19-3.72 eV).

В настоящее время активно исследуются наноструктуры диоксида титана (TiO₂) при разработке функциональных сред для возобновляемых источников энергии, фотокатализаторов и др. В связи с этим, цель работы состояла в определении зависимости физических и оптических свойств конечного продукта от кислотности исходного раствора при синтезе нанопорошка диоксида титана.

Золь-гель методом синтезированы образцы наноразмерного TiO₂ при различном значении pH раствора – 3, 6, 8, 9 и 10. Исходными реагентами являлись Ti(C₄H₉O)₄, C₂H₅OH и H₂O. Кислотно-щелочное состояние раствора варьировалось путем добавления HCl и NH₄OH до достижения заданного значения pH. Равномерное распределение компонентов выполнялось на перемешивающем устройстве в течение 90 мин при температуре 60 °С. Далее осуществлялись сушка растворов при температуре 80 °С в течение 60 мин в сушильном шкафу и отжиг порошков при температуре 350 °С в муфельной печи в течение 4 часов.

Рентгенограммы синтезированных образцов TiO₂ до и после отжига получены на автодифрактометре Shimadzu XRD-7000. Размер частиц рассчитывался по формуле Шеррера, исходя из данных по областям когерентного рассеяния. Плотность образцов измерялась на гелиевом пикнометре Ассурус 1340. Удельная площадь поверхности определена с использованием анализатора Gemini VII 2390. Ширина запрещенной зоны (33) рассчитана с помощью функции Кубелки-

Мунка по спектрам оптического отражения, записанных на спектрофотометре FS-5.

Установлено, что при $pH = 3$, диоксид титана обладает модификацией анатаза, а при $pH = 6 - 10$ аморфной структурой. После отжига все образцы переходят из аморфного состояния в фазу анатаза. Синтезированные порошки отличаются по среднему размеру наночастиц (7-49 нм), удельной площади поверхности (77-140 м²/г) и ширине ЗЗ до и после отжига (3.19-3.72 эВ). Стоит отметить, что ширина ЗЗ всех образцов уменьшается после отжига.

Таким образом, показано, что значение pH исходного раствора существенно влияет на физические и оптические свойства диоксида титана, что очень важно для его использования в качестве фотокатализатора.

CONTRIBUTION OF OMEGA (782) RESONANCE ON THE RESPONSE FUNCTIONS FOR $d(e, e'\pi)pp$ REACTION

Mohamed S. I. Koubisy^{1,2*}, Mahmoud Tammam²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Department of Physics, Faculty of Science, Al-Azhar University, Egypt.

*E-mail: M.S.I.Koubisy@gmail.com

We study the effect of the Omega (ω (782)) resonance on the response functions for the incoherent negative pion electroproduction from the deuteron at different values for the four-momentum transfer's squared (K^2) and the virtual photon lab energy (k_0^{lab}). The study is carried out in the impulse approximation (IA) i.e. the final state interactions are neglected. The elementary amplitude for pion electroproduction is taken from the MAID-2007 model.

The results show a small effect of $\omega(782)$ resonance on the charged pion electroproduction from the deuteron, this effect decrease by increasing K^2 and increase by increasing k_0^{lab} .

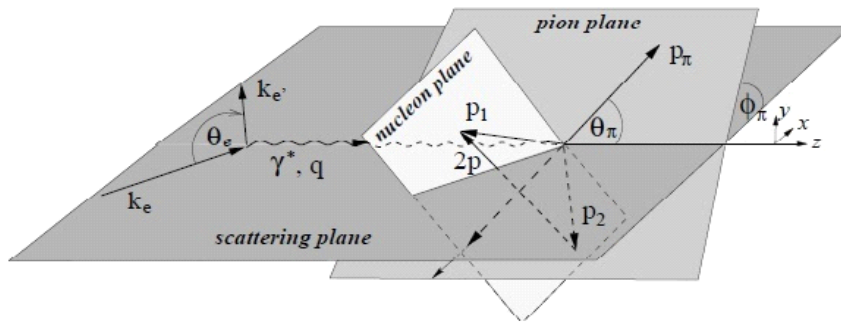


Figure. 1. Kinematics of single pion electroproduction on the deuteron.

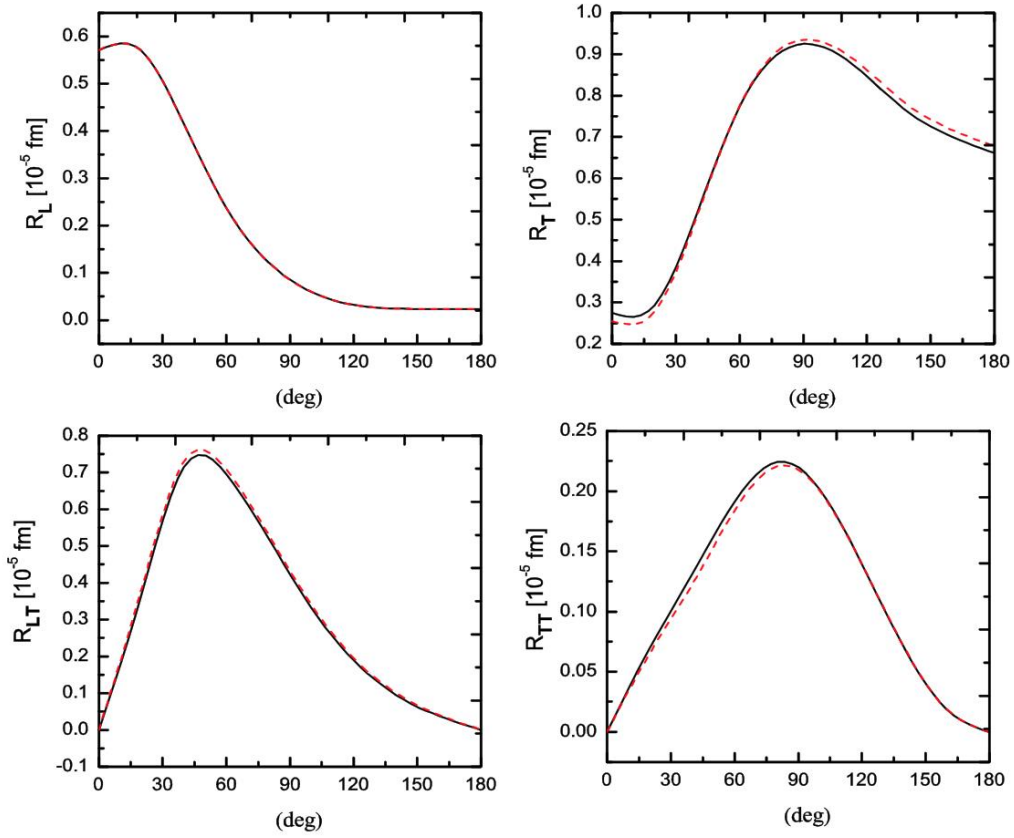


Figure. 2. Angular dependence of the four semi-exclusive structure functions of $d(e, e' \pi^-)pp$ at $k_0^{lab}=300$ MeV and squared four-momentum transfer $K^2 = 0.01(\text{GeV})^2$, full lines where the $\omega(782)$ is included and dashed lines where $\omega(782)$ is eliminated.

1. H. Arenhövel and A. Fix, Physical Review(C) 72, 064004 (2005)
2. Mahmoud Tammam, A. Fix, H. Arenhövel, Physical Review (C) 74, 044001(2006)

АНАЛИЗ ФОРМЫ СПЕКТРОВ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В НАНОПОРОШКАХ h-BN ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ В УФ ДИАПАЗОНЕ

Спиридонов Д.М.¹, Хинайш А.М.А.², Вохминцев А.С.¹, Вайнштейн И.А.¹

¹) Уральский федеральный университет, НОЦ НАНОТЕХ, г. Екатеринбург, Россия

²) Университет Танта, Институт физики, г. Танта, Египет

*E-mail: d.m.spiridonov@urfu.ru

SPECTRAL SHAPE ANALYSIS OF h-BN NANOPOWDER PHOTOLUMINESCENCE UNDER UV RANGE EXCITATION

Spiridonov D.M.¹, Henaish A.M.A.², Vokhmintsev A.S.¹, Weinstein I.A.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Tanta University, Tanta, Egypt

Photoluminescence (PL) processes in mesographic nanopowders of hexagonal boron nitride have been studied. A three-dimensional PL dependence have been obtained in coordinates «luminescence intensity – excitation wavelength – emission wavelength». The shape of spectral cross-sections of the 3D dependence have been analyzed in the energy representation under assumption of independent Gaussian components superposition. It has been shown that the PL processes occur with participation of impurity centers on the basis of carbon and oxygen ions, as well as defects in the nitrogen sublattice of h-BN.

Исследования проводились для номинально чистого нанопорошка гексагонального нитрида бора, Hongwu International Group Ltd., Гонконг. По данным производителя концентрация основных примесей углерода и кислорода не превышает 0.5 вес. %. Ранее [1] было установлено, что порошок является мезографитным, размер частиц варьируется в диапазоне 40-1100 нм и подчиняется логнормальному распределению с максимумом в области 220-230 нм.

Спектры ФЛ регистрировались с использованием спектрометра LS 55 Perkin Elmer в режиме фосфоресценции в области 290-600 нм. Длина волны возбуждения варьировалась в диапазоне 200-280 нм с шагом 1 нм.

По результатам измерений была получена трёхмерная зависимость ФЛ в координатах «интенсивность свечения – длина волны возбуждения – длина волны эмиссии». Обнаружено, что все спектры имеют неэлементарную форму, с несколькими выраженными пиками. Абсолютный максимум свечения наблюдается в полосе 416 нм при воздействии фотонами 215 нм.

Для полученных спектров возбуждения в энергетическом представлении показано, что в исследуемой области 4.1-6.2 эВ они характеризуются максимумами при 4.59, 4.96, 5.3 и 5.8 эВ. На основании ранее полученных результатов [1, 2] и сравнения с литературными данными сделано заключение, что полосы 5.3 и 5.8 эВ обусловлены межзонными переходами. Остальные полосы могут быть связаны с возбуждением примесных центров с участием углерода и процессами

их ионизации, а также с прямым возбуждением носителей заряда из валентной зоны на глубокие уровни захвата.

На основе численного анализа спектров свечения получены гауссовы компоненты с максимумами 2.9, 3.1 и 3.7 эВ. Наблюдаемая форма эмиссионных спектров обусловлена различными соотношениями между указанными полосами. Кроме того, измеренные экспериментальные данные демонстрируют, что при межзонном возбуждении дальнейшая излучательная релаксация протекает с участием глубоких рекомбинационных уровней внутри запрещенной зоны. Показано, что полученные результаты находятся в хорошем соответствии с оценками аналогичных характеристик для микропорошков h-BN, синтезированных осаждением из газовой фазы в присутствии плазмы [2].

Выполнен сравнительный анализ рассчитанных спектральных параметров с данными независимых литературных источников. Показано, что наблюдаемые процессы свечения в наноструктурированных порошках h-BN, обусловлены, главным образом, процессами рекомбинации центров, уровни которых образованы примесными ионами кислорода O_N и углерода C_N в позициях азота и различными дефектами в азотной подрешетке.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-72-10159). С.Д.М. благодарит за финансовую поддержку стипендию Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, СП-3817.2016.1.

1. Henaish A.M.A., Vokhmintsev A.S. et al., AIP Conf. Proc., 1886, 020021 (2017).
2. Хинайш А.М.А., Спиридонов Д.М. и др., Научно-техн. вестник Поволжья, 3, 67 (2015).

INFLUENCE OF SMALL TIMES OF CNT FUNCTIONALIZATION TO THEIR ELECTROPHYSICAL PROPERTIES

Goshev A.A.^{1*}, Eseev M.K.^{1,2}

¹⁾ Northern Arctic Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

²⁾ Federal Center for Integrated Arctic Research, the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, Russia

*E-mail: agoshev@hotmail.com

As it is known oxidation is the most common way of chemical modification of carbon nanotubes. As a result of chemical treatment, various oxygen-containing groups are formed on the surface of carbon nanotubes – hydroxyl, aldehyde, ketone, ether, carboxyl et al [1]. The regularity of the oxidation process is highly dependent on the morphological features of CNTs. Presence of surface groups contributes to obtaining more uniform dispersions in matrices [1–4]. The reason for the prevalence of

functionalization method is its simplicity and effectiveness. However, despite the spread of this method of separation of CNTs, the question associated with small functionalization times (up to two hours) is not disclosed. This may originate from the complexity of functional groups detection on the surface of CNTs by IR and Raman spectroscopy methods.

In this paper we have considered the dependence of the conductivity of CNTs of different functionalization times on temperature (see Fig. 1). The measurement was carried out on a broadband dielectric spectrometer "Novocontrol concept 80" (frequency range 10^{-2} – 10^7 Hz, temperature range 140–480 K). Investigations of this kind have made it possible to reveal the characteristic features of the small time of functionalization, to detect various conduction mechanisms, depending on the temperature range. The dependence of the conductivity on the frequency of the electric field is also informative for defects after acid treatment of CNTs. Activation energy of carriers for certain regions can be calculated within the framework of the following ratio:

$$\sigma = A \cdot \exp \left[\frac{-U}{kT} \right] \quad (1)$$

where U – activation energy of carrier, A – pre-exponential factor, k – the Boltzmann constant. That also carries information about the defectiveness of the CNTs structure.

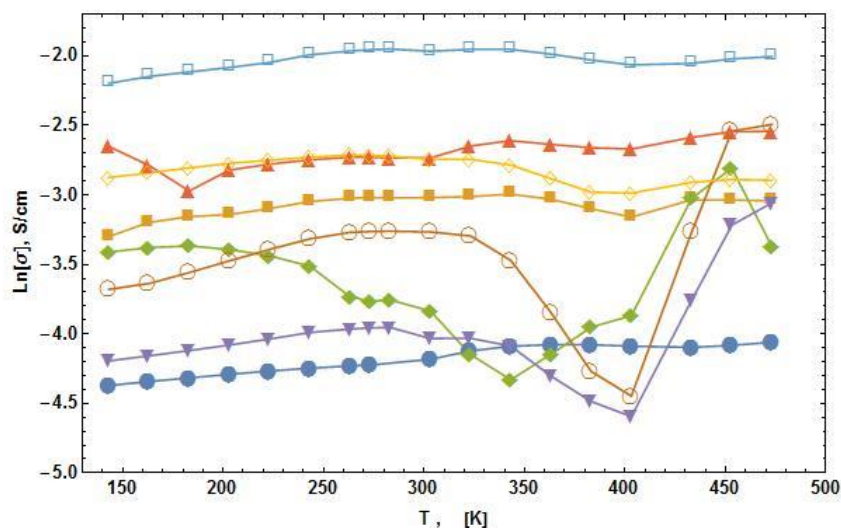


Figure 1. Dependence of the conductivity from temperature at frequency of the external field 10^{-2} Hz from different time of functionalization: ● – pure CNTs «Taunit-M», ■ – 10, ◆ – 20, ▲ – 30, ▼ – 40, ○ – 50, □ – 60, ◇ – 90 minutes of functionalization respectively.

1. Dyachkova T.P., Tkachev A.G., *Metody funkcionizatsii i modifikatsiya uglerodnih nanotrubok* [Parallel Methods of functionalization and modification of carbon nanotubes] M, Spectr (2013).
2. S. Gong, Z. H. Zhu, et al., *J. Appl. Phys.* 116, 194306 (2014).
3. V. Punethaa, S. Ranab, et. Al., *Prog. Polym. Scien.* 67,47 (2017).
4. A Goshev, M Eseev, et al., *J. Phys. Conf. Ser.*, 741, 012191 (2016).

О ХАРАКТЕРНЫХ ДЛИНАХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Матасов А.В.

Национальный исследовательский университет МЭИ, г. Москва, Россия

E-mail: matasov_av93@mail.ru

CHARACTERISTIC LENGTHS OF SUPERCONDUCTORS

Matasov A.V.

National Research University MPEI, Moscow, Russia

In the work the physical meaning of the penetration length of a magnetic field in a superconductor and the coherence lengths of superconductors are considered. A comparative analysis of the penetration length with the wavelength of plasma oscillations, the Debye screening length, and the skin layer in metals was performed. An estimation of the characteristic length of superconductors through Heisenberg's indeterminacy and a semiclassical method is carried out.

Для понимания процессов, происходящих в какой-либо физической теории, необходимо понимать физический смысл объектов, на которых данная теория строится. Для теории сверхпроводимости основными объектами являются вихрь Абрикосова и куперовская пара, поэтому считаем, что для построения более полной удовлетворительной микроскопической теории сверхпроводимости следует рассматривать внимательнее данные объекты, имеющиеся аналогии объектов в других физических теориях, попытаться предложить новый или более полный физический смысл для уже известных явлений.

В работе внимательно рассматриваются длина когерентности и лондоновская длина сверхпроводников, их физический смысл. Произведен сравнительный анализ лондоновской длины с длиной волны плазменных колебаний, дебаевской длиной экранирования, скин-слоем в металлах.

Предлагается оценить скорость куперовской пары в сверхпроводнике по аналогии с выражением, полученным для длины свободного пробега электрона, учитывая, что плазмон является главной причиной потерь энергии. Установлено, что скорость частицы в сверхпроводниках 1 рода, по данной оценке, близка к скорости света и качественно обратно пропорциональна постоянной Гинзбурга-Ландау.

На основе оценки через неопределенность Гейзенберга и квазиклассический метод, используя зависимость энергии вихря Абрикосова от расстояния как потенциальный барьер для куперовской пары, получена связь лондоновской длины и длины когерентности. Данная связь качественно напоминает связь длины свободного пробега с эффективным диаметром молекулы.

1. Ципенюк Ю.М., Физические основы сверхпроводимости, МФТИ (1996).

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРАНИЦЫ ДВИЖУЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Бандо Р.Д.^{*}, Червонцева Е.А., Мартюшев Л.М.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: romanbando@gmail.com

NUMERICAL INVESTIGATION OF MORPHOLOGICAL STABILITY OF MOVING FLUID-FLUID INTERFACE UNDER INITIAL HARMONIC PERTURBATIONS

Bando R.D., Chervontseva E.A. Martyushev L.M.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. Results of numerical calculations of morphological stability of round fluid-fluid interface in Xele-Shaw cell under initial harmonic perturbations are presented.

Исследуется морфологическая устойчивость границы раздела двух движущихся в ячейке Хеле-Шоу жидкостей, при гармонических возмущениях границы произвольной амплитудой δ . Для этого в программной среде COMSOL Multiphysics была создана программа для численного решения следующей задачи [1]: $\Delta p_1 = 0$, $\Delta p_2 = 0$ с граничными условиями: $V_1 \rho \vec{h} \big|_{R_0} = \frac{Q}{2\pi R_0}$,

$V_1 \rho \vec{h} \big|_{R_{ep}} = V_2 \rho \vec{h} \big|_{R_{ep}}$, $p_1 - p_2 \big|_{R_{ep}} = \frac{2\varepsilon}{b} + K\varepsilon$, $p_2 \big|_{R_\infty} = 0$ Здесь: p_i – давление в жидкости ($i=1, 2$ для вытесняющей и для вытесняемой жидкости, соответственно), V_i – скорость движения жидкости, \vec{h} – нормаль к поверхности, R_0 – радиус отверстия, через которое поступает вытесняющая жидкость с постоянным расходом Q , R_∞ – размер ячейки Хеле-Шоу, занятой вытесняемой жидкостью, K – кривизна поверхности раздела, ε – поверхностное натяжение, b – расстояние между пластинами, $R_{ep} = R_n + \delta \cos(k\varphi)$ – уравнение границы раздела двух жидкостей (R_n – радиус невозмущенной поверхности, δ – амплитуда возмущения, k – мода возмущения, φ – полярный угол).

В результате численных расчетов обнаружено существование двух характерных размеров морфологической устойчивости при изменении амплитуды возмущения. Первый размер R_{min} – минимальный размер, начиная с которого возможна потеря устойчивости границы при наличии возмущений произвольной амплитуды. Второй размер R_{max} – размер при котором устойчивость формы теряется при наличии бесконечно малых возмущений. Обнаружено, что всегда

$R_{min} < R_{max}$. Примеры зависимостей этих размеров для разных мод возмущения от величины расхода приведены на рис.1.

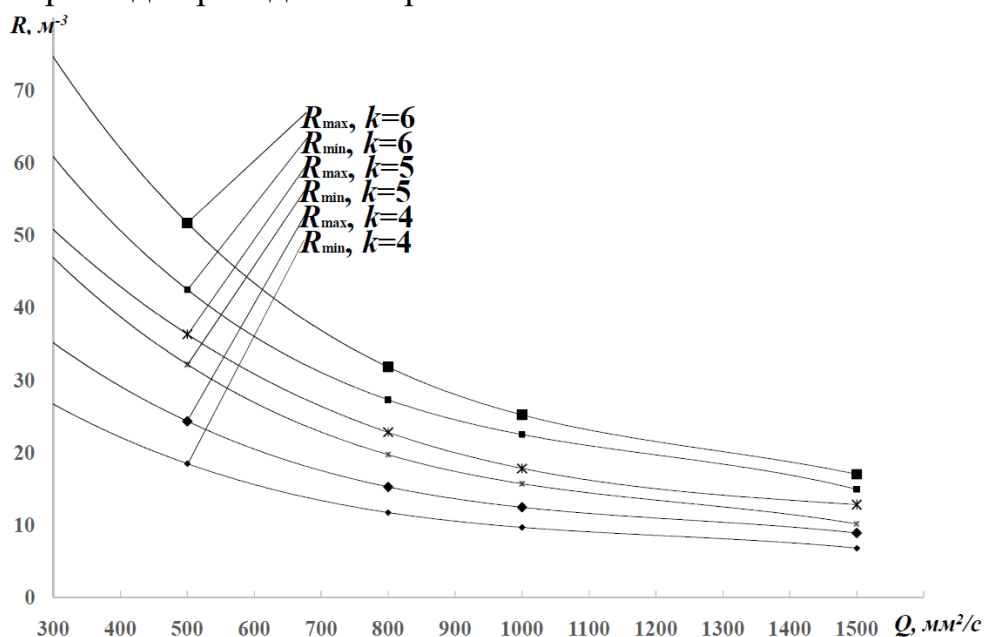


Рис. 1. Зависимость величины критических размеров R_{min} и R_{max} от расхода Q .

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31- 00255 мол_а., а также в рамках научного гранта № 1.4539.2017/8.9.

1. Martyushev L.M., Birzina A.I., J. Phys.: Cond. Matter 20, 045201 (2008).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ СПЕКТРОВ МОНОСЛОЯ СУРЬМЫ

Кашин И.В.^{1,*}, Мазуренко В.В.¹, Руденко А.Н.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт Молекул и Материалов, Неймеген, Нидерланды

*E-mail: i.v.kashin@urfu.ru

MODELING OF ANTIMONY MONOLAYER PHOTOEMISSION SPECTRA

Kashin I.V.^{1,*}, Mazurenko V.V.¹, Rudenko A.N.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute for Molecules and Materials, Radboud University, Nijmegen, The Netherlands

Based on the minimal tight-binding model, angle-resolved photoemission spectra of the antimony monolayer was simulated in terms of dynamical mean-field theory. The dynamical Coulomb correlations were found to strongly affect the energy gap. It reveals electron-electron interplays to be essential to describe the experimentally available properties of the system.

Монослой сурьмы (МСС) представляет собой двумерную физическую систему, которая, наряду с графеном и родственными ему соединениями, может быть получена непосредственно в экспериментах. МСС является перспективным соединением с точки зрения возможности наблюдения на его примере топологических фазовых переходов [1].

В работе [2] была предложена модель магнитоактивной оболочки атомов сурьмы в приближении сильной связи (*tight binding* – *TB*). На ее основе в данной работе было проведено моделирование фотоэлектронных спектров с угловым разрешением (*angle-resolved photoemission spectroscopy* - *ARPES*), с учетом динамических электронных корреляций. Для этого исходная модель была рассмотрена в рамках теории динамического среднего поля (*dynamical mean-field theory* – *DMFT*), с применением метода точной диагонализации для решения эффективной примесной модели Андерсона.

Параметры кулоновского и внутриатомного обменного взаимодействий были выбраны равными $U = 2.0$ эВ и $J = 0.3$ эВ, в согласии с работой [2]. На рисунке 1 представлен результирующий спектр. Исходя из сравнения с электронной структурой [2], можно сделать вывод, что учет динамических кулоновских корреляций приводит к существенному уменьшению энергетической щели. Это указывает на значительность учета электрон-электронного взаимодействия для реалистичного моделирования экспериментальных спектров монослоя сурьмы, материала с многообещающими перспективами построения на его основе наукоёмких устройств нового поколения.

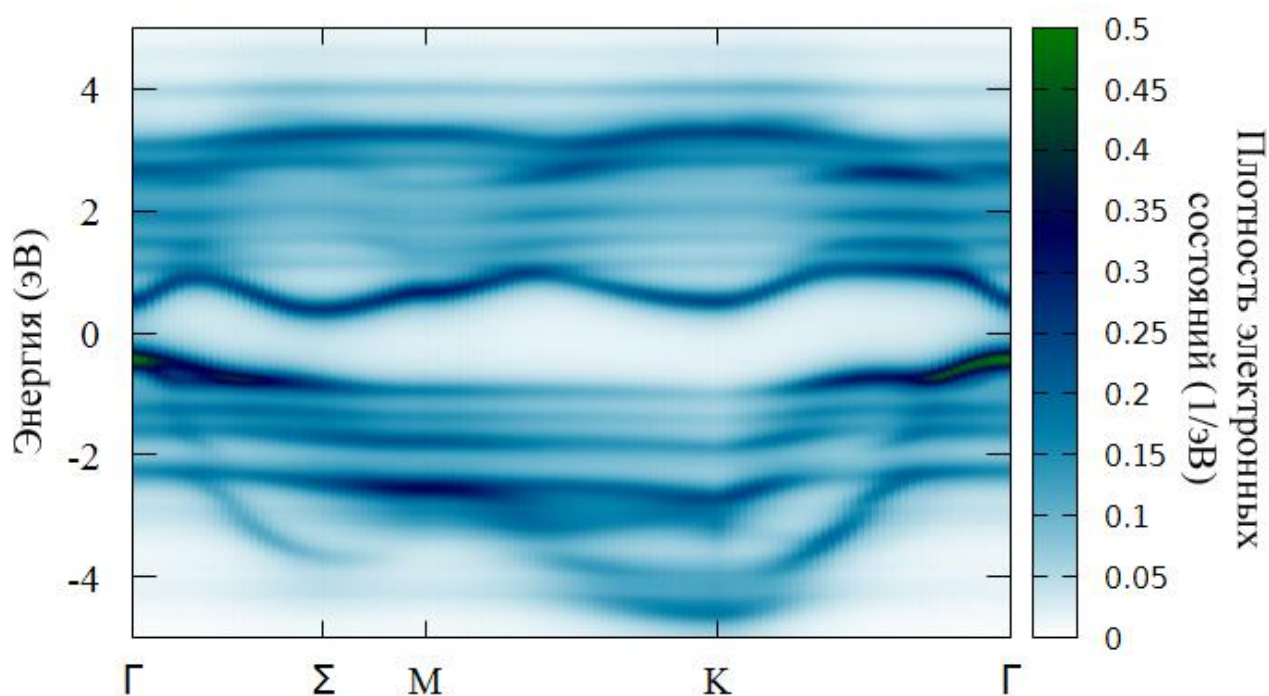


Рис. 1. Смоделированный спектр ARPES монослоя сурьмы.

Работа поддержана грантом Российского Научного Фонда №17-72-20041.

1. Kim S.H. et al., Sci. Rep., 6, 33193 (2016).
2. Rudenko A.N., Katsnelson M.I. and Roldán R., Phys. Rev. B, 95, 081407 (2017).

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В СОЕДИНЕНИЯХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Кашин И.В.^{*}, Андреев С.Н., Мазуренко В.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: i.v.kashin@urfu.ru

PECULIARITY OF COLLECTIVE MAGNETIC EXCITATIONS MODELING IN TRANSITION METAL-BASED COMPOUNDS

Kashin I.V.^{*}, Andreev S.N., Mazurenko V.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The question of applicability for different numerical methods to estimate the basic characteristic of the spin spirals in transition metal-based compounds is investigated. Depending on localization of the magnetic moment (bcc Fe and FeGe systems were taken as the exam-

ple), methods, which include the spatial summing, were found converging or not. It reveals the significance of delocalized magnetic moment in forming of the collective magnetic excitations in real transition metal-based materials.

На сегодняшний день материалы с топологическими магнитными возбуждениями привлекают значительное внимание исследователей, в связи с перспективами построения на их основе вычислительных устройств нового поколения [1]. Данная работа посвящена изучению вопроса о применимости различных численных методов моделирования таких возбуждений в материалах с различной степенью локализованности магнетизма.

Первопринципное моделирование магнитных возбуждений сопряжено с рядом трудностей, как на этапе построения модели, так и при ее численном решении. Особенно ярко это проявляется при рассмотрении соединений на основе переходных металлов, магнетизм в которых, в большинстве случаев, строго говоря, нельзя назвать ни локализованным, ни зонным [2].

Базовой анизотропной характеристикой таких коллективных возбуждений, как спиновые спирали, является спиновая жесткость D , определяющая зависимость энергии возбуждения от пространственной частоты закручивания спирали. В работе [3] было сформулировано два подхода для оценки D : в случае рассмотрения спирали в прямом и обратном пространствах. Первый из них (наиболее популярный среди исследователей) основан на пространственном суммировании парных обменных взаимодействий кинетической природы, величины которых хорошо поддаются оценке различными численными методами. Но он имеет существенный недостаток: при делокализованном магнетизме сложно определить оправданные границы такого суммирования [4].

Второй подход лишен этого недостатка, однако для его реализации необходим расчет частных производных пространственно и энергетически разрешенной функции Грина по векторам обратного пространства. Для этого применим метод конечных разностей и аналитический метод. Последний, опять же, представляет функцию Грина как пространственную сумму.

В данной работе, в рамках приближения локальной спиновой плотности (LSDA) в обратном пространстве, была оценена спиновая жесткость объемного кристалла железа (*bcc* Fe) и германида железа (FeGe). Первая система характеризуется более локализованным магнетизмом: кинетические вклады в обменное окружение становятся пренебрежимо малыми уже на 6-ой координационной сфере, когда как в случае FeGe это наблюдается лишь на 20-ой. Это приводит к качественно различным результатам: если для *bcc* Fe аналитический и численный подход к вычислению производной привел к схожей оценке $D_{\text{Fe}} = 292 \text{ мэВ} \cdot \text{\AA}^2$, согласующейся с теоретической работой [3], то для FeGe численно сходящимся методом оказался только численный подход, $D_{\text{FeGe}} = 424 \text{ мэВ} \cdot \text{\AA}^2$ (находится в хорошем согласии с другими работами [5]).

Полученный результат говорит о том, что степень локализации магнетизма играет значительную роль в формировании базовых характеристик коллективных возбуждений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16–32–00076.

1. N. Romming et al., Science, 341, 636 (2013).
2. M. I. Katsnelson et. al., Phys. Rev., B 82, 100403 (2010).
3. A. I. Lichtenstein et al., J. Phys. F: Met. Phys., 14, L125 (1984).
4. M. Pajda et. al., Phys. Rev. B, 64, 174402 (2001).
5. J. Gayles et al. Phys. Rev. Lett., 115, 036602 (2015).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА БАЗЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ НАНОСИСТЕМЫ Co/Cu(111)

Вялова С.А.^{*}, Кашин И.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: VyalovaSA42@gmail.com

DESIGNING OF AN ELEMENTARY TRANSMITTER BASED ON SURFACE NANOSTRUCTURE Co/Cu(111)

Vyalova S.A.^{1*}, Kashin I.V.¹

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Co adatoms on the Cu(111) surface are known to exhibit strong ferromagnetic character of the exchange interaction, if coupled directly, and explicit antiferromagnetic one, if separated by two Cu atoms [1]. Our calculations, carried out in terms of Heisenberg model, revealed a possibility to design an elementary transmitting unit by adjusting geometry of the system. The transmittance of the unit was found stable up to ≈ 100 Å (100 bonds of FM chain) in small magnetic fields (~ 1 meV) at room temperature.

Сегодня общий курс на миниатюризацию функциональных устройств ставит перед теоретической и экспериментальной наукой актуальные задачи поиска качественно новых принципов их работы, на атомном и субатомном уровне. Стоит отметить, что важными требованиями остаются доступность исходных материалов и высокая рабочая температура. Поэтому целью данной работы служило проектирование элементарного передающего устройства («спинового провода») на основе локальных магнитных моментов атомов кобальта, адсорбированных на медную поверхность.

Из работы [1] известно, что в обменное взаимодействие в связи Co-Co имеет сильную ферромагнитную природу ($J_{\text{FM}} = 400$ мЭВ), когда как будучи опосредованной двумя атомами меди (Co-Cu-Cu-Co), связь становится антиферромагнитной ($J_{\text{AFM}} = -17$ мЭВ). Построение на их основе спиновых цепочек особой геометрии, соединяющих магнитные центры, позволяет воссоздать передающее устройство на уровне модели Гейзенберга:

$$H = -\sum_{i,j} J_{ij} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j - \sum_i H_{\text{mag}} \vec{S}_i,$$

где J_{ij} – величина обменного взаимодействия, H_{mag} – внешнее магнитное поле, $S = 1$ для атомов кобальта [2] и $S = 5$ для магнитных центров. Сигнал моделировался импульсным перемагничиванием одного из магнитных центров против поля, а передающая способность провода определялась степенью скоррелированности векторов намагниченности магнитных центров на его концах. Геометрическая конфигурация модели представлена на рисунке 1.

Результаты расчетов, проведенных квазиныютоновским методом, выявили способность спроектированного спинового провода к передаче сигнала (в полях ~ 1 мЭВ, при комнатной температуре) на расстояние порядка 100 \AA (101 ферромагнитно связанный атом); когда как в случае простой ферромагнитной цепочки сигнал подавляется уже на 7-ом атоме. Это указывает на значительную перспективу практического применения разработанного передающего устройства.

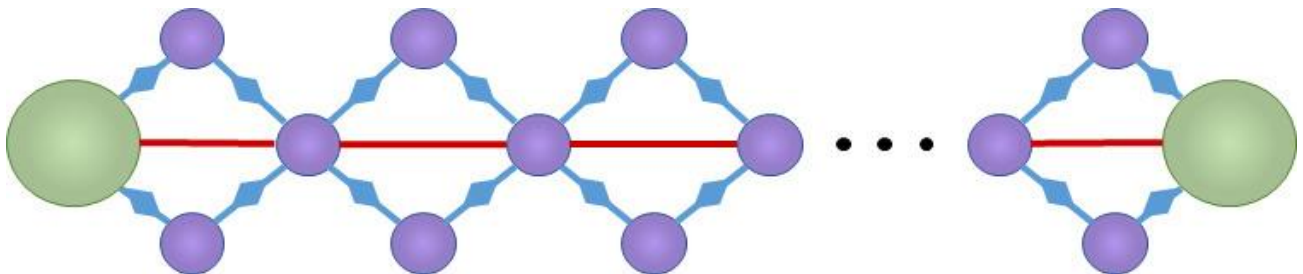


Рисунок 1. Геометрическая конфигурация разработанного передающего устройства.

Большими кругами указаны магнитные центры, малыми – связующие атомы Co. Красная линия соответствует ферромагнитной связи Co-Co, синяя с ромбом – антиферромагнитной связи Co-Cu-Cu-Co.

1. Brovko O.O. et al., Phys. Rev. Lett., 101, 036809 (2008).
2. Baruselli P.P. et al., Phys. Rev. B, 92, 045119 (2015).

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСОБОЧИСТЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВОЛЬФРАМА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Коренистов П.С.^{1*}, Марченков В.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: korenistov1995@mail.ru

NONLINEAR VOLT-AMPPER CHARACTERISTICS OF THE SPECIALTIME TUNGLED TEMPERATURE MONOCRYSTALS AT LOW TEMPERATURES AND IN STRONG MAGNETIC FIELDS

Korenistov P.S.^{1*}, Marchenkov V.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metal Physics, Yekaterinburg, Russia

The magnetoresistance and the current-voltage characteristics of tungsten single crystals with a resistivity ratio $\rho_{300K}/\rho_{4.2K} = 80000$ at $T = 4,2$ K in fields up to 150 kOe were investigated. As a result of the research, nonlinear VACs were found in the magnetoresistance of tungsten crystals under the conditions of SSE. It is suggested that the possible cause of the observed nonlinearities is the effect of phonon generation by supersonic drift of charge carriers near the conductor surface.

До недавнего времени считалось, что в металлах трудно или невозможно наблюдать нелинейные вольт-амперные характеристики (ВАХ) из-за высокой плотности электронов проводимости. По оценкам, при концентрации порядка 10^{22} - 10^{23} эл./см³ для наблюдения нелинейностей в металлах необходим ток свыше 10^9 А/см². Однако нелинейные эффекты в металлах могут возникать в условиях генерации фононов при сверхзвуковом дрейфе носителей заряда в скрещенных электрическом и магнитном полях при гораздо меньших плотностях тока $10^5 - 10^6$ А/см². Таких значений плотности тока в металлах можно достичь в условиях статического скин-эффект (ССЭ) – концентрации постоянного электрического тока вблизи поверхности проводника. ССЭ может возникать в результате сильного электрон-поверхностного рассеяния в чистых монокристаллах компенсированных металлов с замкнутой поверхностью Ферми в области сильных магнитных полей, в частности, в монокристаллах вольфрама. Цель данной работы – поиск и изучение нелинейных ВАХ в особо чистых монокристаллах вольфрама при низких температурах и в сильных магнитных полях.

Было исследовано магнитосопротивление и ВАХ монокристаллов вольфрама с отношением сопротивлений $\rho_{300K}/\rho_{4.2K} = 80000$ при $T=4,2$ К в полях до 150 кЭ. В результате исследований обнаружены нелинейные ВАХ в магнитосопротивлении кристаллов вольфрама, находящихся в условиях ССЭ. Показано, что

нелинейности возникают, когда плотность тока вблизи поверхности проводника достигает значения 10^5 А/см² при относительно небольшой средней плотности тока образца $10^1 - 10^2$ А/см². Высказано предположение, что возможной причиной наблюдаемых нелинейностей является эффект генерации фононов сверхзвуковым встречным дрейфом носителей заряда вблизи поверхности проводника. В условиях стационарных ВАХ это дополнительно приводит к разогреву кристалла.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Спин», № 01201463330) при частичной поддержке Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.A03.21.0006) и гранта № 14.Z50.31.0025 Министерства образования и науки РФ.

ИМПУЛЬСНОЕ ЛАЗЕРНОЕ НАПЫЛЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК GaPN НА Si

Девицкий О.В. *, Сысоев И.А., Касьянов И.В.

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

*E-mail: v2517@rambler.ru

PULSED LASER DEPOSITION OF GAPN THIN FILMS ON SI

Devitsky O.V., Sysoev I.A., Kasyanov I.V.

North-Caucasian Federal University, Stavropol, Russia

Annotation. Thin film GaP_{1-x}N_x were obtained by pulsed laser deposition. It was found that a small mixing (1-2 cm⁻¹) in the frequency positions LO phonon modes for films GaP_{1-x}N_x and a single-crystal GaP target was observed in the spectra obtained. The results obtained can be explained by a decrease in the crystal lattice parameter in the epitaxial layer GaP_{1-x}N_x.

В последние два десятилетия в мире началось интенсивное исследование нитридов соединений A³B⁵ как нового класса полупроводниковых материалов [1]. Свойства твердых растворов A³B⁵_{1-x}N_x отличаются от соединений A³B⁵ тем, что в следствии высокой электроотрицательности азота по сравнению с фосфором, мышьяком или сурьмой, внедрение атомов азота в кристаллическую решетку в количественном отношении от 1 %, приводит модификации зоны проводимости образованного твердого раствора A³B⁵_{1-x}N_x, ее расщеплению и образованию двух непараболических подзон (E₋ и E₊) [2, 3]. Более того было установлено, что свойства A³B⁵_{1-x}N_x (ширина запрещенной зоны, постоянная решетки) зависят от состава соединения.

Для распыления мишеней использовалось лазерное излучение второй гармоники YAG-лазера (λ=532 нм). Энергия лазерного импульса составляла

200 мДж, длительность импульса 10 нс, частота повторения импульсов 15 Гц, расстояние от мишени до подложки 50 мм. В качестве мишени использовалась монокристаллическая подложка фосфида галлия, процесс напыления производился в атмосфере чистого азота при давлении 2 Па. В качестве подложек использовались пластины монокристаллического кремния ориентации (100) площадью 1.5 см². Очистка поверхности кремниевых подложек от органических загрязнений проводилась в смеси изопропанола и ацетона в ультразвуковой ванне с последующим травлением 5%-м раствором плавиковой кислоты для удаления естественного оксидного слоя и пассивации поверхности атомами водорода. Температура подложки при напылении составляла 300°C.

Спектры комбинационного рассеяния света были получены с помощью спектрометра inVia Raman Microscope. Сравнение данных частот активных рамановских колебаний для материала монокристаллической мишени GaP и аналогичных данных для пленок GaP_{1-x}N_x, полученных методом импульсного лазерного напыления, показывает небольшое смещение (1-2 см⁻¹) в положении частот для пленок и материала мишени. Это следствие уменьшения параметра кристаллической решетки в эпитаксиальной пленке GaP_{1-x}N_x. Более того, параметр кристаллической решетки твердого раствора GaP_{1-x}N_x при содержании азота 0.02 точно согласован с параметром кристаллической решетки кремния. По смещению пиков фононных мод можно судить о том, что величина механических напряжений пленки невысока.

1. [Электронный ресурс]: Properties and Laser applications of the GaP-based Ga(NAsP)-material system for integrations to Si-Substrates URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/e6c6/53768a0bacaefdd4133299b620e5a77dfde6.pdf> (дата обращения: 27.12.2017).
2. Cole D. GaN thin films deposited by pulsed laser ablation in nitrogen and ammonia reactive atmospheres / Cole D., Lunney J.G. // Materials Science and Engineering. – 1997. - B50. P. 20–24.
3. Spruytte S.G. Nitrogen incorporation in group III-nitride-arsenide materials grown by elemental source molecular beam epitaxy / Spruytte S.G., Larson M.C., Wampler W., Coldren C.W., Petersen H.E., Harris J.S. // Journal of Crystal Growth. – 2001. – Volume 227-228. P. 506-515.

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КЕРАМИК ОКСИДА АЛЮМИНИЯ, ДОПИРОВАННЫХ ПРИМЕСЯМИ МЕТАЛЛОВ

Панков В.А.^{1*}, Чуркин В.Ю.¹, Фролов Е.И.², Звонарев С.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

*E-mail: pankovvitaliy1997@gmail.com

THERMOLUMINESCENCE OF ALUMINA CERAMIC DOPING METAL IMPURITIES

Pankov V.A.^{1*}, Churkin V.Y.¹, Frolov E.I.², Zvonarev S.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Samara State Technical University, Samara, Russia

Annotation. Thermoluminescence of ceramic samples of aluminum oxide doped with chromium, magnesium and manganese impurities was measured. It is established that three luminescence bands appear in ceramics with impurity of manganese in the thermoluminescence curve in comparison with two bands in a pure sample. It is shown that the lower the impurity concentration, the more intense the bands with maxima at 120 and 160 °C.

Оксидные системы относятся к широкому классу материалов, используемые при решении научных и прикладных задач. Среди них несомненный интерес представляют широкозонные оксиды, применяемые во многих изделиях современной техники. Экспериментальное исследование оптических свойств таких материалов представляет значительный интерес для понимания особенностей структурного состояния и прогнозирования свойств новых функциональных материалов, поскольку электронные и квантовые эффекты играют важную роль в проявлениях различных физических эффектов, таких как электропроводность, электронная эмиссия, люминесценция, электрический пробой и многих других. В последние годы интенсивно изучаются оптические свойства оксида алюминия в качестве матрицы с высоким квантовым выходом люминесценции при ее допировании различными примесями [1-2].

Керамики на основе оксида алюминия с примесями хрома, магния и марганца изготовлены в результате многостадийного синтеза. На первом этапе получены исходные пористые матрицы в виде компактов методом холодного статического прессования высокочистого (99,997%) коммерческого нанопорошка оксида алюминия, полученного алкоголятным методом. После прессования проведен термический отпуск компактов при температуре 450 °C в течение 2-х часов. Пористые матрицы Al_2O_3 пропитаны в растворах нитрата хрома, магния и марганца с помощью циклического процесса погружения матрицы в раствор с известной концентрацией и последующей сушкой в электрической печи на воздухе. Получение керамических образцов выполнено при спекании как на воздухе

в электрической печи (до 1600°C), так и в вакууме с использованием высоко-температурной вакуумной электропечи СНВЭ 9/18. Электропечь СНВЭ 9/18 позволяет производить отжиг образцов при температуре до 1700 °С в вакууме (0,013 Па) при длительности спекания 2 часа.

Для измерения кривых термовысвечивания применялся опытный образец дозиметрической системы «Грей», разработанный на кафедре ФМПК физико-технологического института УрФУ. С целью определения концентрации и типов активных центров люминесценции исследуемые наноструктурные керамики предварительно были облучены источниками электронов и бета излучения. Доза облучения варьировалась в следующих диапазонах: бета – 0.054 мГр до 400 Гр, электронный источник – 1,5-750 кГр.

После облучения электронным пучком на кривой термовысвечивания беспримесного керамического оксида алюминия наблюдается две полосы люминесценции с максимумом около 160 и 350 °С. У допированных керамик примесью Mn на кривой термовысвечивания можно выделить уже три полосы с максимумами при 120, 180 и 350 °С. Показано, что чем меньше концентрация примеси, тем более интенсивные первые две полосы. При этом следует заметить, что при спекании керамик в присутствии углерода на кривой термовысвечивания не наблюдается ни одной полосы люминесценции.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (№ СП-3858.2018.2).

1. Y. Gui, Q. Yang, Y. Shao, Y. Yuan. Journal of Luminescence, 184, 232–234 (2017).
2. W. Yang, X. Yin, Y. Liu. Journal of Environmental Chemical Engineering, 4, 3415–3425 (2016).

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КЕРАМИК ОКСИДА АЛЮМИНИЯ С ПРИМЕСЯМИ МАГНИЯ И МАРГАНЦА

Чуркин В.Ю.^{1*}, Панков В.А.¹, Фролов Е.И.², Смирнов Н.О.¹, Звонарев С.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

*E-mail: churkinslavatok@rambler.ru

LUMINECSECE OF ALUMINA CERAMIC WITH MAGNESIUM AND MANGANESE

Churkin V.Y.^{1*}, Pankov V.A.¹, Frolov E.I.², Smirnov N.O.¹, Zvonarev S.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Samara State Technical University, Samara, Russia

Annotation. Alumina samples doped with magnesium and manganese impurities were synthesized at various concentrations. The spectra of photoluminescence and pulsed cathodoluminescence were measured.

Люминесцентные свойства материалов исследуются для создания их основе высокоэффективных люминофоров. В последние годы интенсивно изучаются оптические свойства оксида алюминия в качестве матрицы с высоким квантовым выходом люминесценции при ее допировании различными примесями [1-2]. Оксидные системы относятся к широкому классу материалов, используемые при решении научных и прикладных задач. Среди них несомненный интерес представляют широкозонные оксиды, применяемые во многих изделиях современной техники. Экспериментальное исследование оптических свойств таких материалов представляет значительный интерес для понимания особенностей структурного состояния и прогнозирования свойств новых функциональных материалов, поскольку электронные и квантовые эффекты играют важную роль в проявлениях различных физических эффектов, таких как электропроводность, электронная эмиссия, люминесценция, электрический пробой и многих других.

Получение керамических образцов выполнено при спекании компактов исходной матрицы с примесями магния и марганца в электрической печи на воздухе и высокотемпературной вакуумной электропечи СНВЭ 9/18. Температура спекания варьировалась от 1400 до 1700 °С при длительности от 1 до 3 часов. Компакты были получены методом холодного статического прессования высокочистого (99,997%) коммерческого нанопорошка оксида алюминия, полученного алкоголятным методом, с последующей пропиткой в растворе нитрата примеси.

Для оценки люминесценции образцов использованы методы фото и импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) при использовании следующего оборудования: люминесцентный спектрометр Perkin Elmer LS-55 в диапазоне 200-1100 нм

для получения спектров возбуждения и эмиссии, катодолюминесцентный спектрометр «КЛАВИ» с наносекундным импульсным электронным пучком плотностью 60 A/cm^2 с энергией электронов $130 \pm 10 \text{ кэВ}$ для регистрации спектров люминесценции.

Спектры ИКЛ керамических образцов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:Mg}$ показали, что существует 3 полосы люминесценции с максимумами при 410, 540 и 690 нм. Первая полоса соответствует собственному центру оксида алюминия, вторая – магниевая шпинель, свидетельствующая, что атомы магния встроились в решетку оксида, и третья – примесный центр хрома, присутствующий в малых концентрациях в исходном порошке. Установлено, что увеличение времени пропитки исходной матрицы в растворе и уменьшение давления прессования компактов приводит к росту интенсивности люминесценции в полосе Mg. Показано, что при допировании образца примесью марганца существует концентрация, при которой наблюдается максимальная интенсивность люминесценции. Это значение соответствует интервалу 0.01-0.1 wt. %.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики (№ СП-3858.2018.2).

1. K. Drdlíková, R. Klement, D. Drdlíka, T. Spusta, D. Galusekb, K. Maca. Journal of the European Ceramic Society, 37 (7), 2695–2703 (2017).
2. Dianguang Liu. Ceramics International, 39, 4765–4769 (2013).

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНОЙ СИСТЕМЫ $\text{In}_2\text{O}_3\text{-C}$

Жилова О.В.*, Панков С.Ю.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

*E-mail: zhilova105@mail.ru

THE STRUCTURE AND THE ELECTRICAL PROPERTIES OF MULTILAYER SYSTEM $\text{In}_2\text{O}_3\text{-C}$

Zhilova O.V.*, Pankov S.Yu.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Annotation. The films were taken by the ion-beams method sputtering. It is shown that the film $\text{In}_2\text{O}_3\text{-C}$ has an X-ray amorphous structure with embedded In_2O_3 nanocrystallites. The films have a high gas sensitivity to hydrogen.

Образцы были получены методом ионно-лучевого распыления на уникальной установке, спроектированной и изготовленной на кафедре физики твердого тела ВГТУ [1]. Для формирования многослойных структур было использовано одновременное распыление двух мишеней. Мишени представляют из себя керамические пластины состава In_2O_3 , С закрепленные на медном водоохлаждаемом основании планарным размером $280 \times 80 \text{ мм}^2$. Напыление производилось на вращающуюся подложку. Изменяя скорость вращения и параметры распыления, регулировались толщины осаждаемых слоев. Для получения градиента толщин на подложках в ходе одного технологического процесса между мишенью и подложкодержателем устанавливался V-образный экран.

В результате послойного осаждения In_2O_3 и С методом ионно-лучевого распыления, полученная пленка обладает рентгеноаморфной структурой с внедренными в нее нанокристаллитами In_2O_3 (рис. 1).

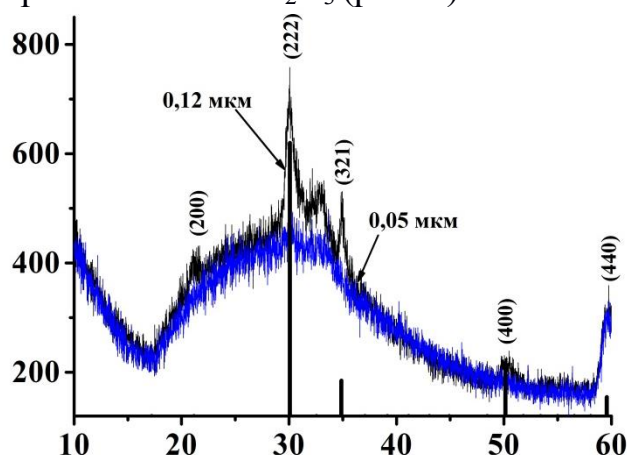


Рис. 1. Дифрактограмма пленок In_2O_3 -С разной толщины в исходном состоянии

После термической обработки пленок выявлено, что отжиг до температуры 600°C приводит к кристаллизации аморфной фазы с выделением нанокристаллов In_2O_3 кубической структуры с пространственной группой симметрии Ia-3.

Электрическое сопротивление полупроводниковых пленок является чрезвычайно структурно-чувствительным свойством. Поэтому были исследованы зависимости изменения сопротивления с ростом температуры ($R(T)$) образцов системы In_2O_3 -С.

Температурная зависимость $R(T)$ пленок In_2O_3 -С определяется фазовыми превращениями с учетом высокого значения сопротивления полупроводника в аморфной фазе и определяющего вклада в проводимость межзеренных границ.

Пленки системы In_2O_3 -С после термической обработки 600°C в течение 30 минут в вакууме имеют высокую газовую чувствительность к водороду, которая зависит от толщины образцов.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки в рамках проектной части государственного задания (3.1867.2017/4.6).

1. Ситников, А. В. дис. д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07 (2010).

СВЕЧЕНИЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК InP/ZnS В ДИАПАЗОНЕ 7.5-295 К ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ФОТОВОЗБУЖДЕНИИ

Савченко С.С.^{*}, Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: s.s.savchenko@urfu.ru

EMISSION OF InP/ZnS QUANTUM DOTS IN 7.5-295 K RANGE UNDER PULSED PHOTOEXCITATION

Savchenko S.S.^{*}, Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. Fluorescence characteristics of InP/ZnS quantum dots (QDs) with an average diameter of 2.3 nm were investigated in the temperature range 7.5–295 K under pulsed excitation. Emission maximum of 2.17 eV was found to be temperature-independent. Simultaneously, 380 meV halfwidth decreased upon cooling due to a redshift of a high-energy side of spectra. The results were analyzed as compared with the previous ones obtained under continuous wave excitation and literature data.

Квантовые точки (КТ) позволяют изучать ряд интересных физических явлений, в основе которых лежит трехмерное квантовое ограничение. Размерный эффект оказывает доминирующее влияние на их свойства, позволяя на стадии синтеза за счет геометрических параметров настраивать энергетическую структуру КТ. В настоящее время активно исследуются и оптимизируются оптические характеристики коллоидных нанокристаллов, поскольку они претендуют на роль эффективных излучателей нового поколения с массой применений в различных областях. Фосфид индия в оболочке из сульфида цинка обладает всеми предпосылками для того, чтобы стать одним из основных материалов для создания таких излучателей [1,2]. Ранее нами было изучено температурное поведение оптического поглощения и люминесценции КТ InP/ZnS при возбуждении в режиме непрерывной волны. Данная работа посвящена исследованию спектров их фотолюминесценции (ФЛ) в температурном интервале 7.5–295 К при импульсном возбуждении.

Коллоидные КТ InP/ZnS имеют структуру ядро/оболочка и покрыты модифицированной полиакриловой кислотой (производитель ФГУП «НИИ прикладной акустики», Дубна). Средний размер составляет 2.3 нм в соответствии с оценкой по положению первой экситонной полосы поглощения в рамках приближения эффективной массы. Для проведения измерений раствор осаждался на кварцевые подложки толщиной 1 мм. Исследование характеристик свечения и возбуждения ФЛ осуществлялось с помощью люминесцентного спектрометра Perkin Elmer LS55. Управление температурой образца в диапазоне 7.5-295 К было реализовано с помощью системы из гелиевого криостата с замкнутым

контуром Janis модели CCS-100/204N, компрессора HC-4E, турбонасосной станции HiCube 80 Eco и контроллера Model 335.

Максимум интенсивности флуоресценции I_{\max} при комнатной температуре наблюдается при энергии $E_m = 2.17$ эВ. Полоса свечения имеет полуширину $H = 380$ мэВ и обладает асимметричной формой с более пологой низкоэнергетической стороной. При понижении температуры до 7.5 К значение E_m не изменяется, H уменьшается до 360 мэВ и интенсивность свечения I_{\max} возрастает в 1.9 раз. Установлено, что изменение полуширины обусловлено смещением высокоэнергетической стороны полосы, в то время как низкоэнергетическая сторона с температурной не смещается. Интересно отметить, что в режиме непрерывного возбуждения в спектре ФЛ при охлаждении проявляется низкоэнергетическая полоса, интенсивность которой растет с понижением температуры. Такое поведение может быть связано с тем, что полоса свечения содержит вклады дефектных и экситонных состояний. Флуоресценция КТ возбуждается в широком диапазоне от 5 эВ вплоть до полосы свечения, при этом форма спектров возбуждения также не меняется при охлаждении. Обнаруженное температурное поведение ФЛ проанализировано с привлечением ранее полученных результатов и независимых работ по изучению люминесценции нанокристаллов на основе InP.

1. Savchenko S.S., Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A., J. Physics: Conference Series, 741, 012151 (2016).
2. Savchenko S.S., Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A., Opt Mater Express, 7, 354 (2017).

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЛЬДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГРАДИЕНТАХ ЗАМОРОЗКИ

Волков А.С.^{*}, Копосов Г.Д., Перфильев Р.О.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Россия

*E-mail: a.s.volkov@narfu.ru

DIELECTRIC SPECTROSCOPY OF ICE IN VARIOUS FROZEN GRADIENTS

Volkov A.S.^{*}, Kopusov G.D., Perfilov R.O.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, Russia

The analyzed dependence of the effective and imaginary parts of the complex dielectric permittivity of ice, clothes from supercooled water at different temperatures. Their dependence on the degree of polycrystallinity was revealed. The parameters of the frequency dispersion of the dielectric properties of ice are determined in accordance with the Havriliak-Negami model.

Диэлектрические свойства поликристаллического льда значительно отличаются от свойств льда в монокристаллическом состоянии. Не смотря на то, что электрофизические свойства монокристаллического льда достаточно подробно исследованы [1, 2], для поликристаллического состояния теории, объясняющей диэлектрические характеристики, не существует. Известно, что частотная зависимость диэлектрической проницаемости монокристаллического льда удовлетворительно описывается дисперсионной моделью Дебая [3].

Для выявления влияния градиента заморозки льда с помощью диэлектрического спектрометра Novocontrol Concept80 в диапазоне частот 0,01 Гц ÷ 10 МГц и при температурах от -140 °С до 0 °С исследовались частотные зависимости ϵ' и ϵ'' образцов льда, полученных при различном градиенте температур. Так, были исследованы образцы льда, полученные при замораживании воды жидким азотом (-196 °С), а также при -20 °С, -5 °С, -1 °С и -0,5 °С. Как известно, температурный градиент заморозки влияет на степень поликристалличности льда, т.е. образец, полученный при замораживании жидким азотом должен быть наиболее поликристалличен, а образец, полученный при -0,5 °С должен обладать наименьшей степенью поликристалличности.

Полученные частотные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости исследуемых образцов при температуре -30 °С представлены на рис. 1.

Следует отметить значительное отличие зависимости для образца при -0,5 °С, от зависимостей других образцов. Анализ по модели Дебая показывает практически полную сходимость, т.е. образец близок к монокристалличе-

скому состоянию. Зависимости $\varepsilon' = f(\omega)$ и $\varepsilon'' = f(\varepsilon')$ (диаграммы Коул-Коула) других образцов обладают несколькими релаксационными процессами за счет включения различных релаксаторов и могут быть описаны с помощью модели Гавриляка-Негами:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{\left[1 + (i\omega\tau)^{1-\alpha}\right]^{\beta}} \quad (1)$$

В (1) ε_s и ε_{∞} - статическая и высокочастотная диэлектрическая проницаемость соответственно, α и β - дисперсионные параметры, τ - время релаксации. Определение параметров модели можно осуществить, воспользовавшись алгоритмом [4], либо путем компьютерного анализа [5].

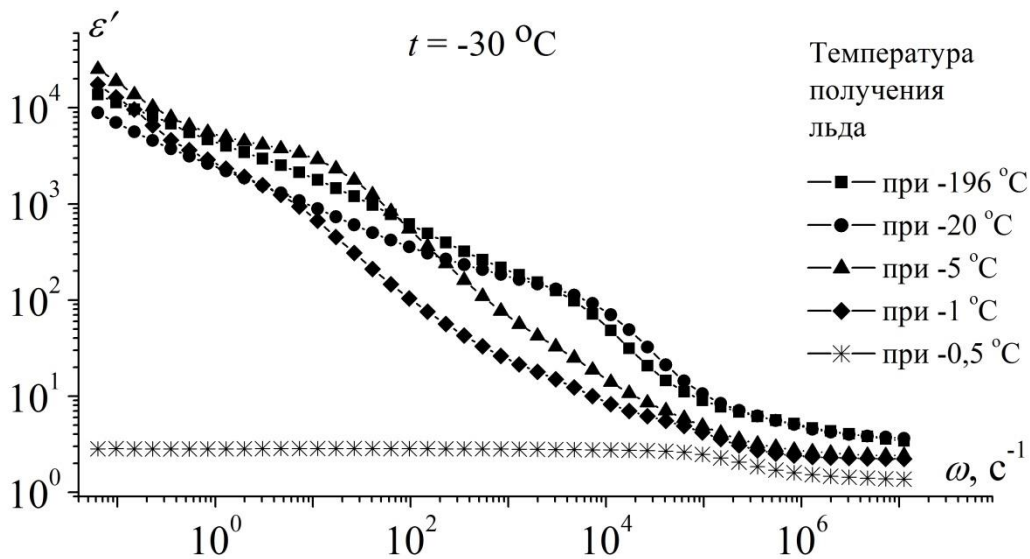


Рис. 1. Частотные зависимости действительной части диэлектрической проницаемости образцов, полученных при различной температуре, при -30 °C.

1. Тонконогов М.П. УФН, 168, 1, 29 (1998).
2. Petrenko V.F., Whitworth R.W. Physics of ice, Oxford University Press (2006).
3. Debye P. Polar molecules (1929).
4. Перфильев Р.О., Копосов Г.Д., Волков А.С. Тезисы докладов ФТИ-2017, 155 (2017).
5. Волков А.С., Волкова Ю.В. Физический вестник Института естественных наук и технологий САФУ, 17, 119 (2015).

ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РОСТА ПАРОВОГО ПУЗЫРЯ В ЖИДКОСТИ. ДВУМЕРНЫЙ СЛУЧАЙ

Черноскулов А.С.^{*}, Мартюшев Л.М.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: san4ya123@mail.ru

DYNAMIC STAGE OF GROWTH OF BUBBLE IN A FLUID. THE TWO-DIMENSIONAL CASE

Chernoskulov A.S.^{*}, Martyushev L.M.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. In this paper, we consider the dynamic growth regime of a vapor bubble for a two-dimensional case. Analytical solution for this model is obtained.

В работе рассматривается рост сферического парового пузырька в перегретой жидкости в динамическом режиме роста [1]. Ранее данная задача была решена в трехмерном случае. Двумерный случай (рост круглого пузырька в квазидвумерной ячейке) является важным с практической и теоретической точки зрения, но в литературе рассмотрен не был [1]. Целью работы стало аналитическое решение данной задачи.

Математическая постановка задачи, основанная на решении двух уравнений Навье-Стокса и непрерывности, полностью соответствует работе [1]. Видоизменения граничных условия связаны лишь с новой геометрией задачи. Преобразуя два уравнения можно получить следующее уравнение:

$$\ln\left(\frac{R_{\infty}}{R}\right)\left[\dot{R}^2 + R\ddot{R}\right] - \frac{1}{2}\dot{R}^2 = \frac{\sigma}{\rho_1}\left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R}\right), \quad (1)$$

где R - радиус пузырька, R_0 - критический радиус зародыша, R_{∞} - радиус сосуда, ρ_1 - плотность жидкости. Решение (1) имеет вид:

$$R\sqrt{\ln\left(\frac{R_{\infty}}{R}\right)}\Bigg|_{R_0}^R - \frac{\sqrt{\pi}}{2}R_{\infty}\operatorname{erf}\left(\sqrt{\ln\left(\frac{R_{\infty}}{R}\right)}\right)\Bigg|_{R_0}^R = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_1 R_0}}\tau \quad (2)$$

где τ - время. При условии, что $R_0 \ll R \ll R_{\infty}$, решение упрощается:

$$R\sqrt{\ln\left(\frac{R_{\infty}}{R}\right)} = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_1 R_0}}\tau = \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_1}}\tau, \quad (3)$$

где Δp - перепад давления. Важным результатом полученного решения, является то, что в отличие от трехмерного случая зависимость размера пузыря от времени роста становится отличной от линейной.

1. Кипение/ Присняков В.Ф., Кипение, Наук. думка (1988).

РФЭС-АТТЕСТАЦИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ГИБРИДИЗАЦИЕЙ

Зацепин А.Ф.¹, Бунтов Е.А.¹, Зацепин Д.А.¹, Бокизода Д.А.¹,
Вяткина С.П.¹, Касьянова А.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: bobot92@mail.ru

XPS-CHARACTERIZATION OF THIN-FILM CARBON COMPOSITES WITH VARIABLE HYBRIDIZATION

Zatsepin A.F.¹, Buntov E.A.¹, Zatsepin D.A.^{1,2}, Boqizoda D.A.¹,
Vyatkina S.P.¹, Kasyanova A.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) M.N. Mikheev Institute of Metal Physics UB RAS

Annotation. The purpose of this paper is to obtain data on the elemental and chemical composition of a surface layer several tens of atomic monolayers thick. The essence of the technique is to record and analyze the spectrum of secondary electrons excited by an X-ray beam. A high resolution in the energy of the detected electrons makes it possible to determine even tiny shifts in the peaks due to a change in the chemical state of the atoms, which makes it possible to study thin surface layers. As a system of samples, we used films of 20 - 400 nm long carbon chains on copper and silicon substrates synthesized by ion condensation in high vacuum, where alignment of the beams of carbon and argon ions facilitates the growth of a film of hexagonally packed sp^1 chains.

Синтез чистого кристалла карбина или длинных изолированных углеродных цепей представляет собой серьезную технологическую проблему из-за нестability sp^1 -углерода. По указанным причинам производство макроскопического карбина до сих пор не было продемонстрировано. Одним из возможных путей синтеза является ионная конденсация карбиноподобных линейных sp^1 -углеродных цепей (ЛЦУ), упорядоченных в гексагональной структуре с мецепочечным расстоянием 0,5 нм. ЛЦУ был получен экспериментально и изучен множеством методов [1, 2]. Метод РФЭС является универсальным инструментом при исследовании элементного состава и энергетики основных уровней в тонких приповерхностных слоях материалов.

Целью настоящей работы является исследование поверхностного слоя углеродных композитов с переменным соотношением углеродных связей с sp^1 , sp^2 и sp^3 -гибридизацией (рис. 1). В качестве системы образцов мы использовали углеродные пленки толщиной 20 - 400 нм на медных и кремниевых подложках, синтезированные с помощью ионной конденсации в высоком вакууме, где сов-

мещение пучков ионов углерода и аргона может обеспечить рост пленки гексагонально упакованных sp^1 -цепей.

Анализ образцов, полученных в лабораториях УрФУ, МГУ и ЧГУ (г. Чебоксары), позволил выявить оптимальные режимы для формирования алмазных, аморфных и линейно-цепочечных покрытий.

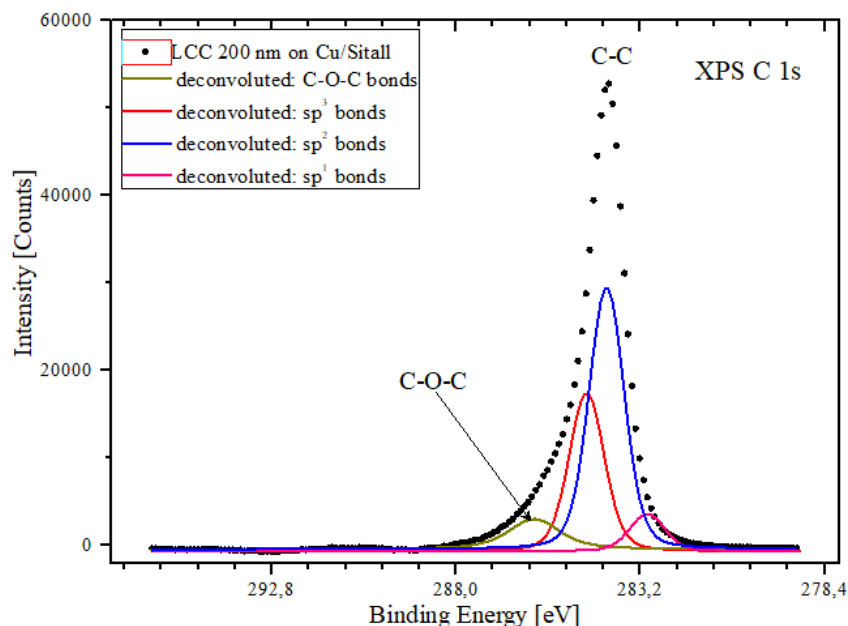


Рис. 1. РФЭС спектр линейно-цепочечного углерода на медной подложке

1. V. Babaev, M. Guseva, V. Khvostov, et al. Carbon Material with Highly Ordered Linear-Chain Structure, in "POLYYNES - Synthesis, Properties, Applications", edr. F. Cataldo (CRC press, USA, 2005) pp.219-252.
2. E.A. Buntov, A.F. Zatsepin, M.B. Guseva, Yu. S. Ponosov. 2D-ordered kinked carbyne chains: DFT modeling and Raman characterization. Carbon 117 (2017) 271-278.

ВЛИЯНИЕ МНОГОЛЕТНЕГО СТАРЕНИЯ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА БЫСТРОЗАКАЛЕННЫХ СПЛАВОВ $\text{Nd}_9\text{Fe}_{85}\text{B}_6$

Алексеев И. В. *, Андреев С.В., Волегов А.С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: igor.alexeev@urfu.ru

MAGNETIC PROPERTIES DEPENDENCE ON THE AGE HARDENING OF REPEAT QUENCHED $\text{Nd}_9\text{Fe}_{85}\text{B}_6$ ALLOYS

Alekseev I.V., Andreev S.V., Volegov A.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Magnetic properties dependence of repeat quenched $\text{Nd}_9\text{Fe}_{85}\text{B}_6$ alloys within 15 years age hardening are presented in this paper.

Сплавы системы Nd-Fe-B были открыты более двух десятилетий назад [1,2], однако до сих пор привлекают внимание исследователей ввиду отсутствия на мировом рынке достойных конкурентов по величине $(BH)_{max}$ при комнатной температуре [3]. Нанокompозитные сплавы $\text{Nd}_9\text{Fe}_{85}\text{B}_6$ представляют особый интерес, так как сочетание магнитотвердой $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ и магнитомягкой $\alpha - \text{Fe}$ фаз позволяет им быть хорошими кандидатами на роль высокоэнергоемких постоянных магнитов [4].

В данной работе исследованы быстрозакаленные сплавы системы $\text{Nd}_9\text{Fe}_{85}\text{B}_6$. Исходные сплавы получены методом индукционной плавки, затем методом спиннингования были получены быстрозакаленные ленты. Во время получения лент через расплав пропусклся ток $I = -10 \text{ А}$ («минус» электрического потенциала на закалочном барабане). Первая серия лент подверглась рекристаллизационному отжигу в вакуумной печи. После 15 летнего старения при комнатной температуре на воздухе вторая серия быстрозакаленных лент была отожжена в вакуумированных кварцевых ампулах. Магнитные свойства 1 серии измерялись в импульсной магнитной установке в полях до 100 кЭ, магнитные свойства 2 серии измерялись на вибрационном магнитометре в полях до 25 кЭ.

Таблица 1 – значения удельной остаточной намагниченности и коэрцитивной силы для 1 и 2 серии

	1 серия (до от- жига)	2 серия (до от- жига)	1 серия (после отжига)	2 серия (после отжига)
σ_r , Гс*см ³ /Г	100	69	94	88
H_c , кЭ	0,09	0,3	5	4,7

В таблице 1 представлены данные удельной остаточной намагниченности и коэрцитивной силы для 1 и 2 серии. После старения остаточная намагниченность значительно падает, однако, относительно хорошо восстанавливается после последующего отжига. Коэрцитивная сила практически не изменяется. Из полученных результатов можно сделать вывод о хорошей временной стабильности быстрозакаленных лент сплава $\text{Nd}_9\text{Fe}_{85}\text{B}_6$.

1. Croat J. J. et al., Journal of Applied Physics. 55.6, 2078-2082 (1984).
2. Sagawa M. et al., Journal of Applied Physics. 55.6, 2083-2087 (1984).
3. Matsuura Y., Journal of magnetism and magnetic materials. 303.2, 344-347 (2006).
4. Skomski R., Coey J. M. D., Physical Review B. 48.21, 15812 (1993).

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ВИСМУТА НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ШЕЕЛИТОПОДОБНОГО МОЛИБДАТА КАЛЬЦИЯ

Тимошенко И.В.^{*}, Парулин Р.А., Кузнецова Ю.А., Зацепин А.Ф.,
Буянова Е.С., Михайловская З.А., Кубиси М.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: t34igor@gmail.com

BISMUTH IONS INFLUENCE ON THE LUMINESCENCE OF SCHEELITE- LIKE MOLYBDATE CALCIUM

Timoshenko I.V., Parulin R.A., Kuznetsova Yu.A., Zatsepin A.F., Buyanova E.S.,
Michaylovskaya Z.A., Koubisy M.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Scheelite-like oxides of the ABO_4 type can be used as materials for lasers, phosphors, etc [1]. We studied the optical properties of $\text{CaMoO}_4\text{:Bi}$ ceramics, the role of the Bi dopant in the formation of the energy structure. Adding Bi affects energy structure of CaMoO_4 by changing its energy gap and leading to non-elementary luminescence quenching.

В ходе работы были получены спектры отражения образцов, типа $\text{Ca}_{1-3x}\text{Bi}_{2x}\text{F}_x\text{MoO}_4$. Их анализ выполнялся на основе упомянутых в [2-3] методов. По результатам выявлена зависимость ширины энергетического зазора для прямых и непрямых переходов от концентрации Bi.

Для недопированного образца $\text{Ca}_{0.98}\text{MoO}_4$ при межзонном возбуждении 4 эВ зарегистрирована неэлементарная люминесценция, представленная суперпозицией гауссовых полос с максимумами 2.18, 2.45 и 2.75 эВ (рис 1, а). Неэлементарный характер полосы свечения обусловлен, вероятно, сложной энергетической структурой автолокализованных экситонов [4] (рис 1, б). При комнатной

температуре происходит безызлучательная релаксация экситона с синглетного состояния в триплетное с дальнейшим излучательным переходом.

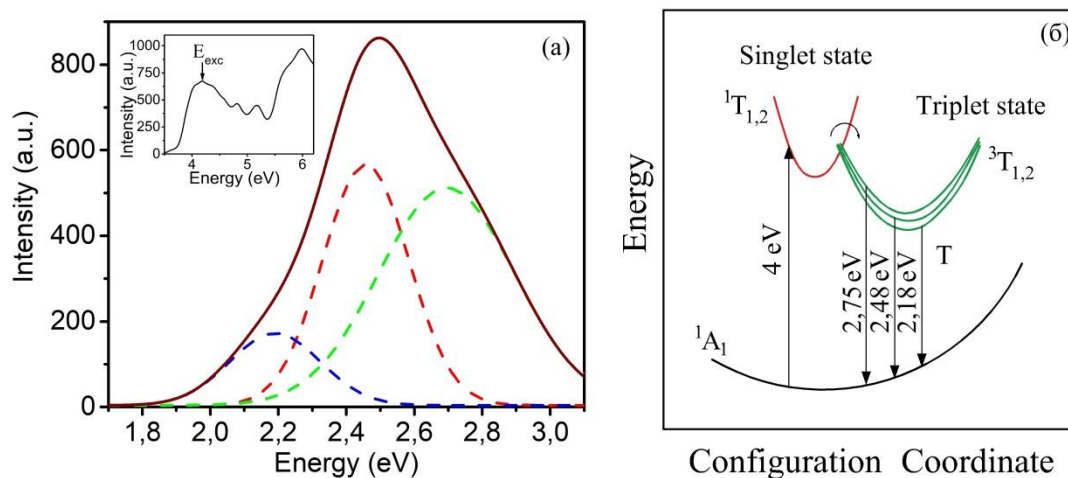


Рис. 1. Спектры возбуждения и неэлементарной люминесценции образца $\text{Ca}_{0.98}\text{MoO}_4$ (а) и схема излучательных переходов в рамках модели потенциальных кривых (б).

Введение висмута в образцы молибдата кальция меняет их энергетическую структуру. Для непрямых переходов при низких концентрациях допанта эффект влияния примеси проявляется сильнее, чем для прямых. Излучение возникает только в недопированном образце, в остальных же висмут выступает в роли гасителя люминесценции.

Работа профинансирована Министерством Образования и Науки Российской Федерации (Правительственное задание №3.1485.2017/4.6).

1. Mikhailik V, et all 2005 J. Appl. Phys. 97 083523.
2. Kuznetsova Yu A, Zatsepin A F 2017 J. Phys.: Conf. Ser. 917 062001.
3. Kubelka P, Munk F 1931 J. Tech. Phys. 12 593.
4. Mikhailik V.B., Kraus H., Itoh M., Iri D., Uchida M. J. Phys.: Cond. Mat. 2005. V. 17. P. 7209.

МНОГОПАРАМЕТРОВАЯ МАГНИТОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Сербин Е.Д.^{1,2*}, Костин В.Н.^{1,2}

¹⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г.
Екатеринбург, Россия

*E-mail: sseugene30@gmail.com

MULTIPARAMETER MAGNETOACOUSTIC DIAGNOSTICS OF STRUCTURAL-PHASE STATE OF STEELS AFTER DEFORMATION AND THERMAL IMPACTS

Serbin E.D.^{1,2*}, Kostin V.N.^{1,2}

¹⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of UrB of RAS, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University n.a. the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

To provide an objective assessment of the structural-phase state of steel products, the use of magnetic testing parameters may be not sufficient. This work aims to determine new magnetoacoustic parameters suitable for steels hardness and structural-phase state testing. The dependences of magnetoacoustic properties of steels with different carbon contents subjected to various heat-treatments and cold plastic deformation on the temperature and a degree of deformation were researched.

Изменение структурно-фазового состояния сталей, приводящее к изменению их прочностных свойств, сопровождается изменением магнитных свойств вещества. Корреляция между магнитными и прочностными свойствами лежит в основе магнитной структуроскопии [1]. Однако, для объективной оценки структурно-фазового состояния стальных изделий одних только магнитных параметров контроля зачастую недостаточно. Многопараметровая диагностика, основанная на измерении комплекса структурно-чувствительных магнитных характеристик, а также параметров, характеризующих динамику перестройки доменной структуры при перемагничивании, может обеспечить более надежное определение структурно-фазового состояния. Такими параметрами являются параметры магнитоакустической эмиссии [2, 3].

Магнитоакустическая эмиссия (МАЭ) представляет собой явление, при котором в ферромагнетике, подверженном циклическому перемагничиванию, возникают упругие колебания. Выделяют три основных механизма возникновения МАЭ: магнитострикционный механизм, электро-магнито-акустическое преобразование (ЭМАП), а также упругие колебания, возникающие при необратимом смещении доменных границ (шум Баркгаузена) [2].

Целью данной работы являлось выявление новых структурно-чувствительных магнитных и магнитоакустических параметров, пригодных для применения в многопараметровых методиках диагностики стальных изделий.

Исследована структурная чувствительность таких параметров магнитоакустической эмиссии, как основная частота и поле максимума МАЭ [3]. Установлено, что зависимость амплитуды МАЭ от частоты перемагничивающего поля имеет немонотонный характер [4]. Показано, что оптимальным параметром контроля отоженных сталей являются амплитуда МАЭ [3]. Установлено наличие корреляции между остаточной магнитной индукцией вещества и амплитудой магнитоакустической эмиссии, что позволяет рекомендовать амплитуду МАЭ в качестве параметра контроля системах структуроскопии ферромагнитных сталей [5].

Полученные в работе результаты могут быть использованы при разработке многопараметровых методик диагностики и контроля сталей и изделий из ферромагнитных материалов.

Работа выполнена по теме «Диагностика» № 01201463329.

1. Михеев М.Н., Горкунов Э.С. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля, Наука (1993).
2. Костин В.Н., Гурьев М.А., Василенко О.Н., Филатенков Д.Ю., Смородинский Я.Г., Физ. мезомех., 16 (5), 103 (2013).
3. Костин В.Н., Василенко О.Н., Филатенков Д.Ю., Чекакина Ю.А., Сербин Е.Д., Дефектоскопия, 10, 33 (2015).
4. Костин В.Н., Филатенков Д.Ю., Чекакина Ю.А., Василенко О.Н., Сербин Е.Д., Акуст. журн., 2, 209 (2017).
5. Костин В.Н., Пудов В.И., Сербин Е.Д., Василенко О.Н., Деф. и разр. мат., 2, 41 (2017).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ УПРОЧНЕННОГО СЛОЯ НА СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЯХ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ФОРМЫ ЛОКАЛЬНО ИЗМЕРЯЕМОЙ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА

Бызов А.В.^{1*}, Костин В.Н.^{1,2}, Василенко О.Н.^{1,2}

¹⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: a.v.byзов@mail.ru

THE DETERMINATION OF THE DEPTH OF HARDENED LAYER ON STEEL PRODUCTS ACCORDING TO THE CHANGE OF THE FORM OF HYSTERESIS LOOP MEASURED LOCALLY

Byzov A.V.^{1*}, Kostin V.N.^{1,2}, Vasilenko O.N.^{1,2}

¹⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

The change of the thickness of a hardened layer in the tested object by means of plates having various thickness and located on a magnetic soft core has been modeled. The opportunity of the testing of a surface hardening when measuring the value of the magnetic field strength when the fixed value of the magnetic flux in dependence on the depth of hardened layer has been revealed.

Неразрушающий контроль качества поверхностного упрочнения становится неотъемлемой частью производства стальных изделий в различных отраслях. Глубина упрочненного слоя может меняться от 1-2 мм (клапана автомобильных двигателей) до 15-20 мм (валки прокатных станов).

До настоящего времени одним из наиболее распространенных методов контроля глубины поверхностного упрочнения оставался коэрцитиметрический метод, в основе которого лежит измерение средней по промагниченному объему коэрцитивной силы контролируемого изделия[1]. При этом максимальная глубина контролируемого слоя не должна превышать половины толщины полюса приставного электромагнита. Для определения свойств самого упрочненного слоя дополнительно нужно использовать электромагнит с меньшей глубиной промагничивания.

Задачей настоящей работы было исследование зависимости формы локально измеряемых петель гистерезиса от глубины поверхностно закаленного слоя на массивной магнитомягкой сердцевине.

Для проведения измерений таких величин, как напряженность магнитного поля и магнитный поток, применялась аппаратно-программная система Digital Universal System 1.15-M (АПС DIUS 1.15-M), которая представляет из себя персональный компьютер с установленной программой для управления данной системой, преобразователь в виде электромагнита с датчиками Холла, с помощью которых измеряются относительные значения магнитных характеристик в мВ.

При размещении закаленных пластин различной толщины из стали 62С2 на магнитомягкой сердцевине из стали 3 проводилось варьирование глубины закаленного слоя от 0 до 14 мм.

С помощью АПС DIUS 1.15-M измерялись относительные значения напряженности магнитного поля H_n при фиксированных значениях магнитного потока Φ_n в магнитопроводе при перемагничивании изделия по нисходящей ветви петли гистерезиса. Различные значения Φ_n задавались программно.

На основе результатов пространственного численного моделирования распределения магнитного поля в двуслойном объекте и измерений значений H_n при различных Φ_n было получено, что при значении $\Phi_n = 100$ мВ зависимость напряженности поля H_n от глубины упрочненного слоя h является прямо пропорциональной для всех глубин упрочненного слоя. Наличие такой линейной зависимости объясняется различием форм нисходящих ветвей локально измеряемых петель гистерезиса в I, II и III квадрантах.

Настоящая работа выполнена по теме «Диагностика» № 01201463329.

1. В.Е Щербинин, Э.С. Горкунов. Магнитный контроль качества металлов — Екатеринбург: УрО РАН (1996).

ФОРМИРОВАНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫМ И ИОННЫМ ПУЧКОМ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИОБАТА БАРИЯ-СТРОНЦИЯ

Федоровых В.В.^{*}, Чезганов Д.С., Шихова В.А., Власов Е.О.,
Васькина Е.М., Зеленовский П.С., Шур В.Я.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: vyacheslav.fedorovych@mail.ru

FORMATION DOMAIN STRUCTURE BY ACTION ELECTRON AND ION BEAM IN STRONTIUM BARIUM NIOBATE SINGLE CRYSTALS

Fedorovych V.V.^{*}, Chezganov D.S., Shikhova V.A., Vlasov E.O., Vaskina E. M.,
Zelenovskiy P.S., Shur V.Ya.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The formation of a domain structure after irradiation the polar surface of the single crystals of relaxor ferroelectric strontium barium niobate ($\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$) by electron and ion beams.

Особое место среди сегнетоэлектриков занимают релаксорные сегнетоэлектрики, которыми являются монокристаллы ниобата бария-стронция $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$ (SBNx). Одно из практических применений релаксорных сегнетоэлектриков с регулярной доменной структурой основано на возможности их использования для преобразования частоты оптического излучения [1].

Было исследовано формирование доменных структур в результате облучения полярной поверхности монокристаллов SBN61 сфокусированным электронным (ЭП) или ионным (ИП) пучком. Облучение проводилось как в образцах после термической деполяризации (ТДП), так и в образцах после монодо-

менизации. ТДП собой нагрев выше температуры максимума диэлектрической проницаемости [2] и охлаждение без приложения электрического поля, в результате чего в кристалле формировалась полидоменная структура (Рис. 1а). Была разработана оптимальная методика монодоменизации кристаллов SBN.

Доменные структуры визуализировались на поверхности кристаллов методом силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика (СМПО). Облучение проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа Auriga Crossbeam (Carl Zeiss) с системой электронно-лучевой литографии Elphy Multibeam (Raith). Применялись два режима облучения при различных дозах: 1) точечное, 2) полосовое.

В результате точечного облучения формировались изолированные домены круглой формы (Рис. 1в). При облучении ИП размеры изолированных доменов были больше, чем при облучении ЭП. Полосовое облучение приводило к формированию регулярных цепей изолированных доменов при дозах ниже 100 мКл/см^2 и полосовых доменов при более высоких дозах (Рис. 1г). Шероховатость доменных стенок структур, формирующихся в результате облучения ЭП и ИП, в кристалле после монодоменизации была меньше, чем в кристалле после ТДП.

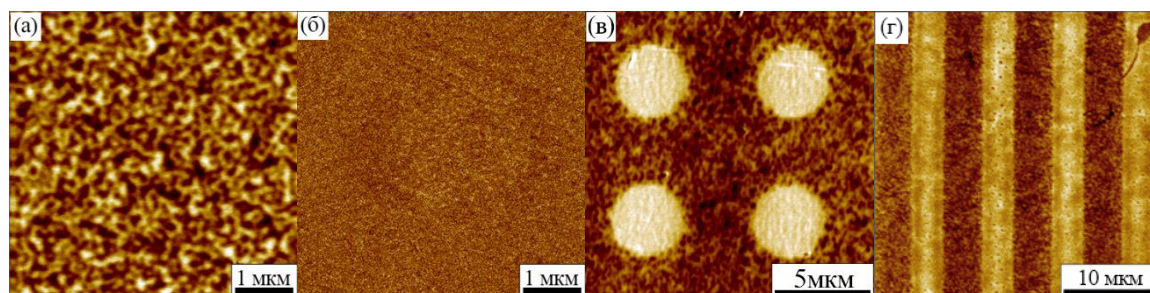


Рис. 1. СМПО изображения доменных структур: (а) после ТДП, (б) после монодоменизации, после точечного (в) и полосового (г) облучения ЭП в ТДП кристалле. Доза облучения (в) 11 пКл, (г) 300 мКл/см².

Работа выполнена с использованием оборудования УЦКП «Современные нанотехнологии» ИЕНиМ УрФУ при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-02-00821 – а).

1. J. J. Romero, C. Arago, et al., J. Appl. Phys. 93, 3111 (2003).
2. G.A. Samara. J. Phys.: Condens. Matter. 15, R367 (2003).

ЛОНДОНОВСКАЯ ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ В АНСАМБЛЕ СПИН-ПОЛЯРОННЫХ КВАЗИЧАСТИЦ КУПРАТНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Комаров К.К.^{1*}, Дзебисашвили Д.М.^{1,2}

¹⁾ Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

²⁾ Сибирский университет науки и технологий, Красноярск, Россия

*E-mail: constlike@gmail.com

LONDON PENETRATION DEPTH IN THE ENSEMBLE OF SPIN- POLARON OF QUASIPARTICLES CUPRATE SUPERCONDUCTORS

Komarov K.K.^{1*}, Dzebisashvili D.M.^{1,2}

¹⁾ Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS,
Krasnoyarsk, Russia

²⁾ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

In the work on the example of calculation London penetration depth λ_L is shown that the spin-polaron approach can successfully describe the electrodynamic properties of high temperature cuprate superconductors. To study concentration and temperature dependences of λ_L was developed a method of calculating the response of an ensemble of spin-polaron of quasiparticles in a uniform field the vector potential $A_{q=0}$. Discusses the nature of the calculated concentration and temperature dependences of λ_L .

В основе объяснения необычных свойств купратных высокотемпературных сверхпроводников лежит предположение о сильных электронных корреляциях, которые приводят, в частности, к значительной связи между зарядовыми и спиновыми степенями свободы. В работе [1] был развит спин-поляронный подход, позволяющий корректно учитывать отмеченные особенности купратных ВТСП. В рамках данного подхода были изучены спектральные свойства купратов при низких температурах [1,2], а также описано возникновение и эволюция с допированием поверхности Ферми в виде «дырочного кармана» в окрестности точки $(\pi/2, \pi/2)$ зоны Бриллюэна [3].

Важным этапом развития концепции спинового полярона явилось описание куперовской неустойчивости в ансамбле спиновых поляронов с d-типом симметрии параметра порядка [4]. Существенным достижением спин-поляронного подхода в этом направлении следует считать установление того факта, что кулоновское взаимодействие между дырками на ближайших ионах кислорода не влияет на d-волновую сверхпроводимость в купратах, поскольку фурье-образ этого взаимодействия выпадает из уравнения на соответствующий параметр порядка [5]. Наконец, недавно в работе [6] было показано, что s-волновая сверхпроводимость в рамках спин-поляронного подхода не возникает, т.к. уравнение на параметр порядка данной симметрии не имеет нетривиальных решений. В совокупности полученные результаты позволили решить давно стояв-

шую в теории купратов проблему доминирования противоречащей эксперименту s-фазы, а также проблему подавления решений d-типа кулоновским взаимодействием.

В настоящей работе на примере расчета Лондоновской глубины проникновения λ_L показано, что спин-поляронный подход позволяет успешно описывать и электродинамические свойства купратных ВТСП. Для изучения концентрационной и температурной зависимости λ_L был разработан метод расчета отклика ансамбля спин-поляронных квазичастиц на однородное поле векторного потенциала $A_{q=0}$. В отличие от общепринятых, этот метод: 1) не предполагает заранее известным спектр квазичастиц; 2) применим к многозонным системам; 3) не ограничен малыми значениями $A_{q=0}$. Обсуждаются особенности рассчитанных концентрационных и температурных зависимостей λ_L , обусловленные спин-поляронной природой фермиевских квазичастиц.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Программы Президиума РАН №12 "Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости", РФФИ (грант #18-02-00837). Работа К.К.К. поддержана Советом по грантам Президента РФ (проект МК-1398.2017.2).

1. Барабанов А.Ф., Березовский В.М., Жасинас Э., Максимов Л.А., ЖЭТФ, 83, 819 (1996).
2. Barabanov A.F., Kuzian R.O., Maksimov L.A., Phys. Rev. B, 55, 4015 (1997).
3. Дзедбисашвили Д.М., Вальков В.В., Барабанов А.Ф., Письма в ЖЭТФ, 98, 596 (2013).
4. Val'kov V.V., Dzebisashvili D.M., Barabanov A.F., Phys. Lett. A, 379, 421 (2015).
5. Вальков В.В., Дзедбисашвили Д.М., Коровушкин М.М., Барабанов А.Ф., Письма в ЖЭТФ, 103, 433 (2016).
6. Вальков В.В., Дзедбисашвили Д.М., Коровушкин М.М., Барабанов А.Ф., ЖЭТФ, 152, 957 (2017).

SELF-ORGANIZED DOMAIN STRUCTURE AT NON-POLAR CUTS OF LITHIUM NIOBATE AS A RESULT OF LOCAL SWITCHING

Alikin Yu.M.^{*}, Turygin A.P., Alikin D.O., Kosobokov M.S., Shur V.Ya.

School of Nature Science and Mathematics, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

^{*}E-mail: alikin.jurij@gmail.com

The fabrication of short period domain structures in single crystals of lithium niobate (LN) for the novel generation of non-linear optical devices stimulates the investigation of the domain structure evolution [1]. The main problem in fabrication of the short period is an undesirable domains growth out of the electrode area. The interaction of the charged domain walls during domain forward growth in the crystal bulk plays the key role in this process. Unfortunately, there is lack of experimental methods with enough spatial resolution to study the forward growth. This problem has been solved by local switching on the nonpolar cuts of LN [2, 3] by conductive tip of scanning probe microscope.

Here we studied the domain interaction during the local switching on the non-polar cuts of LN single crystals doped with 5% magnesium oxide. The domain shape and potential distribution were measured by piezoresponse force microscopy (PFM) and Kelvin probe force microscopy. The decreasing of the distance between needle-like domains in the array leads to significant variation of the length of neighboring domains (Fig. 1a). This effect was attributed to the electrostatic interaction of the charged domain walls during forward growth. Similar effect has been demonstrated recently at the polar cuts [4].

Analysis of the domain interaction at the polar cuts revealed three regimes of the domain size distribution in the array: (I) uniform, with almost equal domain length; (II) intermittent quasiperiodic, representing the period doubling; (III) chaotic. The smooth decline in the domain length of the array is caused by the influence of the charge injected in the initial points of the bias application, which hampered further domain growth. We constructed the phase diagram of the domain interaction in the coordinates of applied bias and spacing between domains (Fig. 1b).

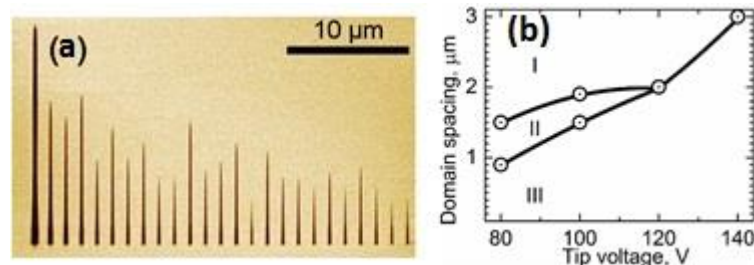


Fig. 1. (a) PFM domain arrays images at Y-cut MgO:LN switched by single pulses (100 V, 500 ms) with a recording interval of 1.28 μm. (b) Phase diagram of the switching behavior (regimes of the domain size distribution in the array) as a function of tip voltage and the spacing between the points of bias application (domain spacing). Regions of various regimes: (I) uniform; (II) intermittent quasiperiodic; (III) chaotic.

The studies were also expanded by the analyzing of humidity influence on the interaction. Increase of the humidity level didn't change the interaction significantly but lead to the partially backstitching of the domains up to 30% relative humidity and complete backswitching at 40% humidity.

The equipment of the Ural Center for Shared Use "Modern nanotechnology" Ural Federal University was used.

1. Shur V.Ya., Akhmatkhanov A.R. et. al., Appl. Phys. Rev., 2, 040604 (2015).
2. Ievlev A.V., Alikin D.O. et. al., ACS Nano, 9, 769 (2015).
3. Alikin D.O., Ievlev A.V. et. al., Appl. Phys. Lett., 106, 182902 (2015).
4. Ievlev A.V., Jesse S. et. al., Nat. Phys., 10, 59 (2013).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ЛИНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ВИСМУТА ВАРЬИРОВАНИЕМ ЗНАЧЕНИЙ ЦИКЛОТРОННЫХ МАСС

Герега В.А.*, Кондаков О.В.

Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Россия

*E-mail: gerega.vasilisa96@gmail.com

MODELING OF THE FORM OF BISMUTH ENERGY SPECTRUM LINE BY CHANGING THE VALUES OF CYCLOTRON MASSES

Gerega V.A.*, Kondakov O.V.

Elets state University, Elets, Russia

Annotation. The article gives an analysis of the optimal values of the cyclotron masses bismuth electrons by modeling of the coefficient by passing the planar waveguide in the far infrared region.

Работа имеет целью определение компонент тензора эффективных масс висмута, методом моделирования результатов магнитооптического эксперимента, проведённого в далёкой инфракрасной области спектра [1].

Тензор эффективных масс электронов висмута имеет вид:

$$\hat{m}^* = \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & m_4 \\ 0 & m_4 & m_3 \end{pmatrix},$$

где m_1 – эффективная масса в направлении бинарной оси симметрии кристаллической решетки висмута, m_2 – в направлении биссекторной оси, m_3 – в направлении тригональной оси, m_4 – масса, характеризующая наклон трёхосного эллипсоида постоянной энергии в биссекторно-тригональной плоскости.

Для направления, когда вектор индукции магнитного поля параллелен биссекторной оси:

$$m_{bis}^{ligh} = m_0 \left(\frac{m_1(m_2 m_3 - m_4^2)}{m_2} \right)^{1/2}; \quad m_{bis}^{heavy} = 2m_0 \left(\frac{m_1(m_2 m_3 - m_4^2)}{(3m_1 + m_2)} \right)^{1/2},$$

где m_{bis}^{ligh} – лёгкая биссекторная циклотронная масса, m_{bis}^{heavy} – тяжёлая биссекторная циклотронная масса.

Компоненты тензора эффективных электронных масс на поверхности Ферми, которые нами использовались как исходные: $m_1 = 0.00606$, $m_2 = 1.26$, $m_3 = 0.0267$, $m_4 = 0.140$ в единицах массы свободного электрона [2–3]. Так как масса $m_2 \gg m_1$, то в первом приближении можно пренебречь членом $3m_1$ в знаменателе выражения для тяжёлых масс. Тогда $m_{bis}^{heavy} = 2m_{bis}^{light}$. Из общих соображений, мы вправе ожидать, что особенности, связанные с тяжёлыми биссекторными циклотронными массами должны располагаться в полях вдвое больших по сравнению с особенностями, связанными с лёгкими биссекторными циклотронными массами.

Результаты моделирования формы линии магнитооптического эксперимента показывают, что уменьшение массы m_1 на 4–6% приводит к сдвигу особенности в пропускании, расположенной в магнитном поле $B = 0.34$ Тл, в меньшие магнитные поля. Одновременно наблюдается изменение интенсивности этой особенности. Наибольшее влияние изменение массы m_1 оказывает на циклотронный резонанс, связанный с меньшими биссекторными циклотронными массами. Из результатов моделирования видно, что наиболее вероятна масса $m_1 = 0.0057$ массы свободного электрона.

Численный эксперимент по варьированию массы m_2 показал, что влияние на магнитооптический спектр изменение массы m_2 оказывает на участок спектра, в котором наблюдается особенность, связанная с циклотронным резонансом тяжёлых биссекторных электронов в диапазоне магнитных полей от $B = 1.4$ до $B = 1.6$ Тл. Это связано с тем, что циклотронная масса дырок составляет примерно величину $m_h = 0.212m_0$. Таким образом, тяжёлые биссекторные электроны и дырки совместно определяют особенность в полях выше 0.5 Тл.

Варьирование величины массы m_4 показывает, что ее уменьшение приводит к уменьшению интенсивности особенности, связанной с электронами меньшей циклотронной массы, как и должно быть. Дело в том, что в рассматриваемом эксперименте наблюдается циклотронный резонанс на наклонных орбитах. Если же, уменьшая массу m_4 , мы уменьшаем наклон эллипсоида постоянной энергии к биссекторной оси, то соответственно должны ухудшаться условия для наблюдения циклотронного резонанса на наклонных орбитах и, тем самым, должна уменьшаться интенсивность данной особенности.

Таким образом, корректировка компонент тензора масс, выполненная методом моделирования магнитооптического спектра, показала свою эффективность, и позволяет уточнить найденные ранее величины.

1. Голубев В.Г., Евсеев В.Н., Иванов К.Г., Иванов-Омский В.И., Субмиллиметровая полосковая линия из висмута в магнитном поле, ЖТФ, (1980).
2. Голубев В.Г., Евсеев В.Н., Иванов К.Г., Иванов-Омский В.И., Распространение субмиллиметровых плазменных волн в висмуте в магнитном поле, Материалы IV Всесоюзного симпозиума «Плазма и неустойчивости в полупроводниках», (1980).
3. Голубев В.Г., Евсеев В.Н., Иванов К.Г., Иванов-Омский В.И., Циклотронная масса электронов в сплавах висмут-олово, Материалы V Всесоюзного симпозиума «Полупроводники с узкой запрещённой зоной и полуметаллы» (1980).

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ РАДИАЦИОННО-ОКРАШЕННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Меньшенина А.А.*, Никифоров С. В., Киряков А. Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: shoostic@mail.ru

LUMINESCENCE OF RADIATION-COLORED ZIRCONIUM DIOXIDE

Menshenina A.A.*, Nikiforov S.V., Kiryakov A.N.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. The cathodo- and thermoluminescence of samples of zirconium oxide (ZrO_2) under the influence of radiation coloration were studied. As a result of this coloration, the luminescence intensity did not change.

Диоксид циркония (ZrO_2) является важным широкозонным диэлектрическим материалом. Он имеет множество применений, включая лазерные фотоприемники и оптически активные слои фотолюминесцентных и электролюминесцентных устройств. Номинально чистый моноклинный ZrO_2 обладает полосой свечения при 480 нм. Одна из теорий связывает данную полосу с образованием кислородных вакансий в решетке [1]. Известно, что одним из способов образования кислородных вакансий в оксидах является их радиационное окрашивание [2]. Однако, его влияние на люминесцентные свойства ZrO_2 изучены недостаточно. Целью исследования было выяснить влияние радиационного окрашивания на люминесцентные свойства ZrO_2 .

В качестве исходных материалов были использованы порошки ZrO_2 двух типов: с размером зерна 70-105 нм (тип 1) и 0,5-1 мкм (тип 2). Методом холодного одноосного прессования с давлением 500 МПа были получены компакты в форме таблеток толщиной 1 мм и диаметром 10 мм. Для радиационного окрашивания образцы облучались быстрыми электронами с энергией 10 МэВ. Из-

мерения ЭПР проведены на приборе фирмы Bruker ELEXSYS 580. Импульсная катодолуминесценция (ИКЛ) измерялась на спектрометре «КЛАВИ» с параметрами пучка: энергия 130 кэВ, длительность импульса 2 нс, плотность тока 60 А/см². Термолуминесценция (ТЛ) возбуждалась вышеуказанным электронным пучком и измерялась с помощью ФЭУ-130 со скоростью линейного нагрева 2 °С/с.

На рисунке 1 приведены ЭПР спектры исходных и окрашенных образцов. Оба спектра имеют сигнал с g-фактором 1,96, характерным для ионов Zr^{3+} . При радиационном окрашивании компактов появляется сигнал с g-фактором 2,005, обусловленный F^+ -центрами. В результате измерения ИКЛ образцов было установлено, что все образцы характеризуются наличием полосы люминесценции при 480 нм. При этом не наблюдается значительного увеличения интенсивности ИКЛ радиационно-окрашенных образцов по сравнению с исходными. ТЛ кривые образцов, изготовленных из порошка типа 1, имеют три пика при 80, 140 и 225 °С. В образцах из порошка типа 2 наблюдается ТЛ при 140 и 225 °С. В результате радиационного окрашивания образцов интенсивность ТЛ во всех пиках существенно не изменялась. Полученные результаты позволяют предположить, что люминесценция диоксида циркония при 480 нм напрямую не зависит от образования F^+ -центров в исследуемом материале.

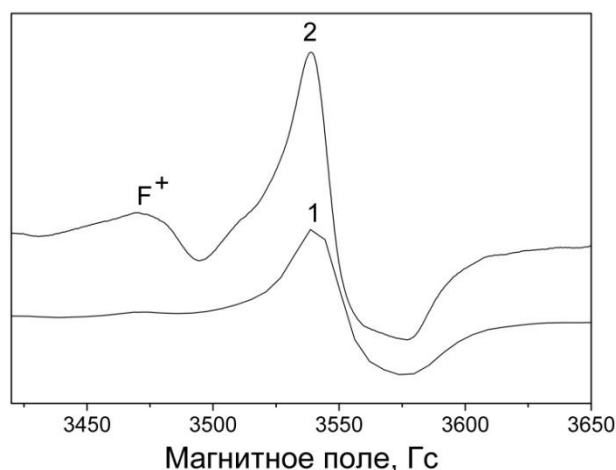


Рис.1. ЭПР спектры исходных (1) и радиационно окрашенных(2) образцов

1. Perevalov T. V. et al., J. Appl. Phys., 116, 244109 (2014).
2. Шварц К. К., Экманис Ю. А. Диэлектрические материалы: радиационные процессы и радиационная стойкость, Зинатне, (1989).

ИСХОДНАЯ ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА В ТАНТАЛАТЕ ЛИТИЯ С НЕОДНОРОДНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ СОСТАВА

Лисьих Б.И.^{1*}, Пряхина В.И.¹, Грешняков Е.Д.¹, Ахматханов А.Р.¹,
Зеленовский П.С.¹, Аликин Д.О.¹, Шур В.Я.¹, Bartasyte A.²

¹⁾ Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Time Frequency Department, FEMTO-ST Institute, Besançon, France

*E-mail: lisjikh.boris@yandex.ru

AS-GROWN DOMAIN STRUCTURE IN LITHIUM TANTALATE WITH SPATIALLY INHOMOGENEOUS COMPOSITION DISTRIBUTION

Lisjikh B.I.^{1*}, Pryakhina V.I.¹, Greshnyakov E.D.¹, Akhmatkhanov A.R.¹,
Zelenovskiy P.S.¹, Alikin D.O.¹, Shur V.Ya.¹, Bartasyte A.²

¹⁾ Institute of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University,
Yekaterinburg, Russia

²⁾ Time Frequency Department, FEMTO-ST Institute, Besançon, France

The dependence of as-grown domain structure in LiTaO₃ single crystals on spatially inhomogeneous composition distribution was shown. The inhomogeneous composition, defined by Li concentration, was produced by vapor transport equilibration. The formation of wide charged domain boundary was revealed.

Исследовалось влияние неоднородного распределения состава на исходную доменную структуру в монокристаллах танталата лития LiTaO₃ (LT). Неоднородное распределение состава определялось отклонением содержания лития от стехиометрического состава ($[Li]/([Li]+[Ta]) = 50$ мол.%). Изменение концентрации Li достигалось с помощью реакции газотранспортного равновесия (vapor transport equilibration – VTE). Вырезанные перпендикулярно полярной оси пластины конгруэнтного ($([Li]/([Li]+[Ta]) = 48,5$ мол.%) LT толщиной 0,5 мм, отжигались в парах Li при температуре от 1100 до 1300 °C в течение 24-100 ч.

Для измерения пространственного распределения состава использовались оптическая спектрофотометрия и конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния. Визуализация доменной структуры в объёме производилась с помощью Черенковской генерации второй гармоники (Cherenkov second harmonic generation) и конфокальной микроскопии комбинационного рассеяния, а на поверхности - с помощью оптической микроскопии и сканирующей электронной микроскопии после селективного химического травления.

Исходная доменная структура формировалась при охлаждении без поля после VTE обработки [1]. Исследовалась зависимость исходной доменной структуры от различия концентрации Li на поверхности и в объёме (ΔC) [2]. Было выделено три типа неоднородностей состава: (1) уменьшение концентрации Li с малой неоднородностью $0 < \Delta C < 0,8\%$, (2) уменьшение концентрации Li с

большой неоднородностью $\Delta C > 0,8\%$ и (3) увеличение концентрации Li с малой неоднородностью $-1\% < \Delta C < 0\%$.

Малая степень неоднородности приводила к формированию широкой (40 ± 3 мкм) заряженной доменной границы. При большой неоднородности наблюдалась широкая заряженная доменная граница (160 ± 10 мкм), состоящая из нанодоменов. При увеличении концентрации Li в объеме наблюдалась широкая доменная граница (350 ± 20 нм), состоящая из нанодоменов.

Визуализация доменной структуры в объеме кристалла позволила выявить наличие изолированных доменов между поверхностями пластины и заряженной доменной границей. Показано, что форма изолированных доменов зависит от локального состава: при стехиометрическом составе домены имеют форму правильных шестиугольников, а при конгруэнтном - треугольников со скругленными углами.

В работе использовалось оборудование Уральского центра коллективного пользования «Современные нанотехнологии» ИЕиМ УрФУ.

1. Shur V., Rumyantsev E., J. Korean Phys. Soc. 32: S727 (1998).
2. Pryakhina V.I., Greshnyakov E.D., Lisjikh B.I., Akhmatkhanov A.R., Alikin D.O., Shur V.Ya., Bartashtey A., Ferroelectrics (2018) *accepted*.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОГО ПЛАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ПОВЕРХНОСТНОГО КВАЗИЖИДКОГО СЛОЯ

Бутак Д.С. *, Мелких А.В.

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: den.butakov@yandex.ru

MODELING OF PROCESSES OF CONTACT MELTING WITH THE SURFACE QUASI-LIQUID LAYER

Butakov D.S. *, Melkih A.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

A contact melting model based on the possible existence of a quasi-liquid layer on the metal surface is proposed. Using the interaction potentials between metal atoms, the temperature at which a quasi-liquid layer will exist on the surface of at least one of them upon contact of their surfaces is calculated. It is shown that this temperature is lower than that realized in experiments on contact melting.

Проблема скорости контактного плавления является нерешенной, поскольку при контакте твердых тел взаимная диффузия атомов должна происходить мед-

ленно, в то время как характерные времена контактного плавления металлов составляют секунды. Для решения этой проблемы предложена модель контактного плавления, основанная на возможном существовании квазижидкого слоя на поверхности металлов. С использованием потенциалов взаимодействия между атомами металлов рассчитана температура, при которой квазижидкий слой будет существовать на поверхности, по крайней мере, одного из них при контакте их поверхностей. Показано, что эта температура ниже той, которая реализована в экспериментах по контактному плавлению, т.е. при контакте двух металлов взаимная диффузия происходит при наличии квазижидкого слоя. Последнее обстоятельство приводит к значительному увеличению скорости диффузии и позволяет объяснить характерные времена контактного плавления, полученные в экспериментах. В таблице приведено сравнение теоретических расчетов с экспериментальными данными.

Сравнение температур плавления

Материалы образцов участвующих в эксперименте	Температуры предплавления, К	Экспериментальная температура плавления, К
Олово-Свинец	455-541	463
Индий-Олово	392-460	400
Таллий-Висмут	481-518	483
Таллий-Олово	479-450	455

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ КОНКУРИРУЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ ГЛУБОКИХ ЛОВУШЕК В Al_2O_3 ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

Пономарева А.И.*, Никифоров С.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: da_94@list.ru

THE POSSIBILITY OF USING COMPETING EFFECTS OF DEEP TRAPS IN Al_2O_3 FOR LUMINESCENT THERMOMETRY

Ponomareva A.I.*, Nikiforov S.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The influence of deep traps filled with UV radiation on the TL peak parameters at 170°C in anion-defective single crystal of Al_2O_3 is studied. A significant drop in the TL of the main peak in the range of 600-900 °C is revealed. The obtained results show the principal possibility of using competing effects associated with deep traps in aluminum oxide for TL thermometry.

Температура является одним из определяющих параметров состояния материала, позволяющих контролировать протекание различных производственных процессов. Одним из перспективных методов измерения температуры является термолюминесцентная (ТЛ) термометрия. Этот метод дает возможность бесконтактного измерения температуры, в том числе в агрессивных средах, в условиях взрывов и пожаров.

Известные работы в области ТЛ термометрии основаны на прямом измерении ТЛ высокотемпературных пиков, связанных с глубокими ловушками, заселенность которых зависит от параметров температурного воздействия [1]. Недостатком такого подхода является высокое тепловое излучение нагревательного элемента, что затрудняет измерение ТЛ при $T > 400^{\circ}\text{C}$. Известно, что в ряде материалов, в частности в анион-дефектных монокристаллах Al_2O_3 , заселенность глубоких ловушек влияет на параметры ТЛ низкотемпературного основного пика при 170°C за счет конкурирующего взаимодействия основных и глубоких ловушек [2]. При этом параметры ТЛ основного пика оказываются чувствительными к температуре, при которой опустошаются глубокие ловушки.

Цель работы – исследование возможностей использования эффектов конкурирующего влияния глубоких ловушек в Al_2O_3 для люминесцентной термометрии.

В работе использовались анион-дефектные монокристаллы Al_2O_3 в виде таблеток толщиной 1 мм, диаметром 5 мм. ТЛ основного пика облучалась тестовой дозой бета-источника (32 мГр). Глубокие ловушки заполнялись при комнатной температуре нефльтрованным УФ-излучением ртутной лампы.

На рис.1 представлена зависимость интенсивности ТЛ основного пика от температуры ступенчатого отжига в диапазоне температур $300\text{--}950^{\circ}\text{C}$.

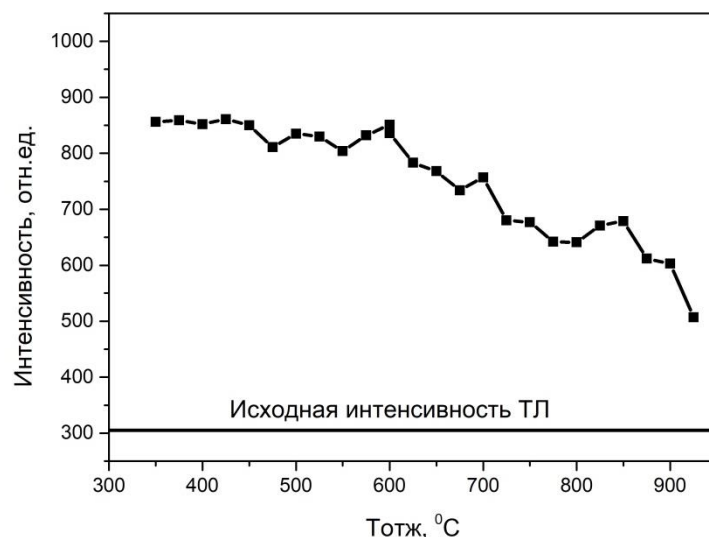


Рис. 1. Зависимость интенсивности ТЛ основного пика от температуры ступенчатого отжига образцов с заполненными глубокими ловушками УФ-излучением.

Видно, что интенсивность ТЛ наиболее сильно изменяется в диапазоне температур опустошения глубоких ловушек 600-900 °С (уменьшается в 1.6 раза). Полученные результаты показывают принципиальную возможность использования конкурирующих эффектов, связанных с глубокими ловушками в оксиде алюминия, для ТЛ термометрии при $T=600-900$ °С.

1. Mah M.L. et al., IEEE Sensors Journal, 10(2), 311 (2010).
2. Milman I.I. et al., Rad. Meas., 29 (3-4), 401-410 (1998).

ТВЁРДЫЕ РАСТВОРЫ В СИСТЕМАХ Sr-(Gd, Sm)-CO-O: СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И КИСЛОРОДНАЯ НЕСТЕХИОМЕТРИЯ

Маклакова А.В.^{*}, Батенькова А.С., Волкова Н.Е.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: anastasia_mkalakova@mail.ru

SOLID SOLUTIONS IN SR-(GD, SM)-Co-O SYSTEMS: SYNTHESIS, CRYSTAL STRUCTURE AND OXYGEN NONSTOICHIOMETRY

Maklakova A.V.^{*}, Batenkova A. S., Vokova N.E.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The present work was centered on the studies of crystal structure and oxygen non-stoichiometry of intermediate phases in (Gd, Sm)-Sr-Co-O. The projections of isothermal-isobaric phase diagram for the (Gd, Sm)-Sr-Co-O systems to the compositional triangle of metallic components was presented.

Физико-химические свойства оксидов, образующихся в системах Ln-Me-Me/-O (где Ln – лантанид, Me – щелочноземельный металл, Me/ – 3-d металл) зависят от их кристаллической структуры, на формирование которой существенное влияние оказывает содержание кислорода. В связи с этим информация о методах получения, физико-химических свойствах и стабильности оксидов при варьировании химического состава на сегодняшний день является актуальной.

Поэтому целью настоящей работы явились определение фазовых равновесий в системах (Gd, Sm)-Sr-Co-O, а так же оптимизация условий синтеза, определение кристаллической структуры и физико-химических свойств соединений, образующихся в данных системах.

Синтез образцов проводили по глицерин-нитратной технологии. Фазовый состав полученных оксидов контролировали рентгенографически. Идентификацию фаз проводили при помощи картотеки JCPDS и программного пакета

«fpeak». Определение параметров элементарных ячеек из дифрактограмм осуществляли с использованием программ «CelRef 4.0», уточнение полнопрофильного анализа Ритвелда в программе «FullProf 2008». Величину содержания кислорода оксидов определяли методами термогравиметрического анализа и дихроматометрического титрования.

Согласно результатам РФА в системах (Gd, Sm)-Sr-Co-O на воздухе установлено образование двух типов твердых растворов: $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{CoO}_{3-\delta}$, $\text{Sr}_{2-y}\text{Ln}_y\text{CoO}_{4-\delta}$ (Ln = Sm, Gd). Установлено, что однофазные сложные оксиды $\text{Sr}_{1-x}\text{Gd}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ образуются при $0.1 \leq x \leq 0.4$ и $\text{Sr}_{2-y}\text{Gd}_y\text{CoO}_{4-\delta}$ - при $0.8 \leq y \leq 1.2$. Для твердых растворов $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{CoO}_{3-\delta}$, $\text{Sr}_{2-y}\text{Ln}_y\text{CoO}_{4-\delta}$ область гомогенности лежит в следующем интервале составов: $0.05 \leq x \leq 0.50$ и $0.9 \leq y \leq 1.3$. Рентгенограммы всех однофазных оксидов удовлетворительно описываются в рамках тетрагональной ячейки пространственной группы $I4/mmm$.

Для всех однофазных оксидов были рассчитаны параметры элементарной ячейки и координаты атомов. Показано, что при увеличении концентрации ионов Sm (Gd) наблюдается уменьшение параметров и объема элементарной ячейки для сложных оксидов, что связано с размерными эффектами.

Для образцов состава $\text{Sr}_{1-x}\text{Sm}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ ($x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$) и $\text{Sr}_{1-x}\text{Gd}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ ($x = 0.1, 0.2$), построена зависимость содержания кислорода на воздухе от температуры.

Показано, что кислородная нестехиометрия δ увеличивается с ростом содержания самария в $\text{Sr}_{1-x}\text{Sm}_x\text{CoO}_{3-\delta}$ и повышением температуры, а содержание кислорода в кобальтите $\text{Sm}_{1.2}\text{Sr}_{0.8}\text{CoO}_{4-\delta}$ близко к стехиометричному во всем исследованном интервале температур.

Фазовые равновесия изучали при давлении 0.21 атм и 1100°C. По результатам РФА всех исследуемых образцов, закаленных на комнатную температуру, были построены диаграммы состояния систем (Gd, Sm)-Sr-Co-O.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ВИСМУТА МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

Колосов В.Ю.¹, Юшков А.А.^{1*}, Веретенников Л.М.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

²) Уральский государственный экономический университет, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: yushkov.anton@urfu.ru

INVESTIGATION OF THIN BISMUTH FILMS BY ELECTRON MICROSCOPY

Kolosov V.Yu.¹, Yushkov A.A.¹, Veretennikov L.M.²

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

Vacuum-deposited thin bismuth films were investigated by transmission electron microscopy. Crystal lattice bending in range 7 – 57 deg/ μm and preferred crystallographic orientations [111] and [122] were observed.

Тонкие пленки висмута в настоящее время активно исследуются в связи с их необычными термоэлектрическими, магнитными и квантовыми свойствами [1]. Пленки висмута и его соединений находят применение в термоэлектрических и высокоточных магнитометрических приборах.

Образцы пленок были получены путем термического напыления в вакууме и помещены на стандартные медные сетки. Исследование проводилось на микроскопах JEM-2100 (просвечивающий с ускоряющим напряжением 200 кВ) и LVEM-5 (сканирующе-просвечивающий с ускоряющим напряжением 5 кВ). Съемка производилась с увеличениями от $\times 50$ до $\times 100\text{k}$, в просвечивающих режимах светлого и темного полей, дифракции электронов в выбранной области, а также в режимах сканирования в обратно отраженных и вторичных электронах. В одном из образцов было произведено плавление и испарение части пленки электронным пучком LVEM-5.

Исследование показало, что осажденная пленка поликристаллична, с размерами кристаллитов от ~ 10 до 200 нм. В большинстве кристаллитов наблюдаются изгибные контуры (рис. 1а), соответствующие изгибу от 7 град/мкм до 57 град/мкм. Последнее значение соответствует внутреннему изгибу решетки.

Расшифровка электронограмм выбранной области показала, что большинство кристаллитов имеют ориентировки кристаллографической оси зоны [111] и [122] (рис. 1в).

Расчет толщин кристаллов по темнопольным снимкам в ярких рефлексах (рис. 1б) позволил оценить толщину пленки в пределах 10-20 нм. В зоне плавления пленки по краям области расплава образовались монокристаллы размерами до нескольких мкм. Для них оценка толщины дала значения до 30 нм.

При сопоставлении снимков в просвечивающем и сканирующем режимах было установлено, что часть кристаллитов лежит выше основного слоя пленки (рис. 1г, д).

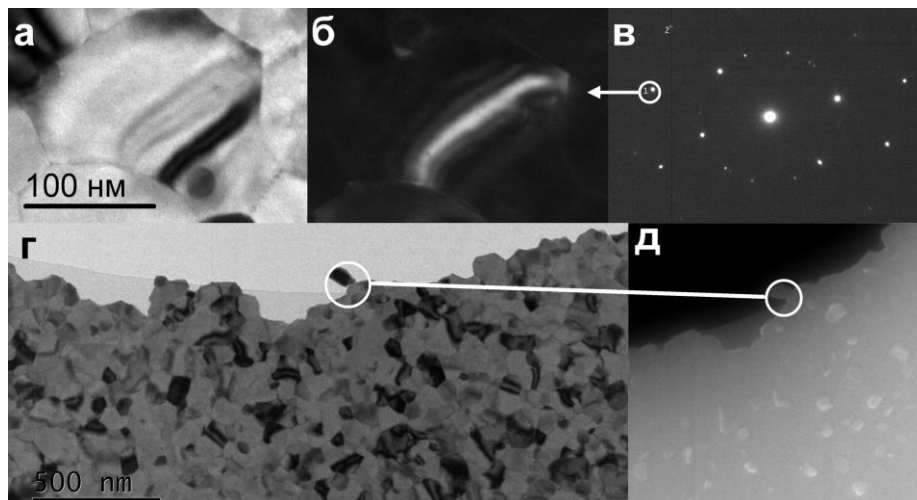


Рис. 1. а – микрофотография изгибных контуров в кристалле Вi; б – темнопольное изображение кристалла на рис. 1а; в – электронограмма соответствующей области с указанным рефлексом для рис. 1б; г – микрофотография участка пленки Вi в просвечивающем режиме; д – микрофотография участка пленки на рис. 1г в режиме вторичных электронов.

1. M. Neklyudova et al, Appl. Phys. Lett. 110, 103101 (2017)

ПАРАМЕТРЫ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА В ПЛЕНКАХ ЦЕПОЧЕЧНОГО УГЛЕРОДА

Касьянова А.В.^{1*}, Бунтов Е.А.¹, Зацепин А.Ф.¹, Вяткина С.П.¹

¹⁾ Физико-технологический институт, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: kasyanova.1996@list.ru

PARAMETERS OF CHARACTERISTIC RAMAN LINES IN THE LINEAR- CHAINED CARBON FILMS

Kasianova A.V.^{1*}, Buntov E.A.¹, Zatsepin A.F.¹, Vyatkina S.P.¹

¹⁾ Institute of physics and technology, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

In the present work, experimental Raman spectra of linear-chain carbon (LCC) films of different thickness were studied. The dependence of the Raman shift frequency and its width at half the height on the thickness of the linear-chained carbon film was established. According to the results obtained, hypotheses were put forward about the cause of the appearance of spectral shifts.

Спектроскопия комбинационного рассеяния света (КРС) позволяет обнаруживать мельчайшие изменения в структуре материала, а поэтому прекрасно подходит для исследования строения углеродных материалов [1]. Положение линий КРС чрезвычайно чувствительно к пространственной ориентации связей, колебательным модам и массе атомов.

Целью настоящей работы было исследование зависимости спектральных параметров линий комбинационного рассеяния (КР) от толщины пленки линейно-цепочечного углерода (ЛЦУ) и типа подложки [2]. Были получены спектры для пленок толщиной 200, 500, 1000, 2000 и 4000 Å. Спектры КРС всех пленок имеют сложную структуру, состоящую из нескольких групп полос, что указывает на наличие в структуре образцов различных углерод-углеродных связей.

Наиболее интенсивными полосами являются т.н. G- и D-пики около 1540 и 1350 см⁻¹. Они характерны для углеродных материалов с sp² и sp³ гибридизацией соответственно. Значение толщины пленки не влияет на положение G-полосы (рис. 1). Также для этой линии практически не изменяется и полуширина [2]. D-полоса при увеличении толщины пленки практически не смещается.

Кроме того, на спектрах были выделены широкие и менее интенсивные полосы на частотах 550, 1100, 2100 и 2800 см⁻¹. Пик около 550 см⁻¹ соответствует режимам свертывания углеродных цепей с изгибом. При увеличении толщины пленки максимум рассеяния сначала смещается в сторону меньших частот, а затем возвращается в первоначальное положение. Максимальное смещение пика наблюдается при толщине пленки равной 1000 Å. Следующая полоса наблюдается вблизи частот 1100 см⁻¹ и при увеличении толщины пленки этот максимум приближается к D-пику. В случае пленки толщиной 4000 Å данная полоса практически накладывается на D-полосу.

Отличительной особенностью пленок линейно-цепочечного углерода от других углеродных материалов является наличие характерных полос комбинационного рассеяния вблизи частот 2000–2100 см⁻¹. Появление максимума вблизи данных частот связано с колебаниями атомов в результате растяжения С–С связи. Частота данной полосы линейно связана с длиной углеродной цепочки. Группа линий, находящихся вблизи частот 2500–3000 см⁻¹ могут быть частично вызваны линией второго порядка от линии 1500 см⁻¹ и представляют собой сумму D- и G-линий. Спектральный сдвиг данных линий незначительно увеличивается с увеличением длины цепочки, а интенсивность рассеяния при этом растет.

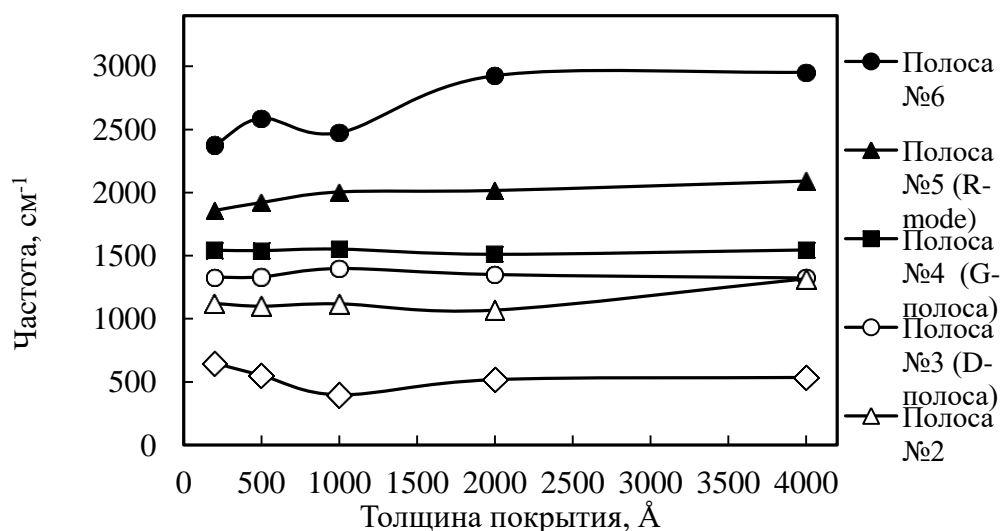


Рис. 1. Зависимость положения линий КРС от толщины ЛЦУ-пленки

1. A.C. Ferrari, J. Robertson. Raman spectroscopy of amorphous, nanostructured, diamond-like carbon, and nanodiamond, Philos.. Trans. R. Soc. Lond. A 362 (2004).
2. E.A. Buntov, A.F. Zatsepin, M.B. Guseva, Y.S. Ponosov. 2D-ordered kinked carbyne chains: DFT modeling and Raman characterization, Carbon 117 (2017).

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КИСЛОРОДНО-ДИФИЦИТНЫХ ЦЕНТРОВ В КВАРЦЕВОМ СТЕКЛЕ КУВИ, ИМПЛАНТИРОВАННОМ ИОНАМИ РЕНИЯ

Тарасюк В.О.^{*}, Бирюков Д.Ю., Зацепин А.Ф., Вяткина С.П.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: newparin@yandex.ru

PHOTOLUMINESCENCE OF OXYGEN-DEFICIENT CENTERS IN THE SILICA GLASS IMPLANTED BY RHENIUM IONS

Tarasyuk V.O.^{*}, Biryukov D.Yu., Zatsepin A.F., Vyatkina S.P.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The luminescence of silica glass implanted by rhenium ions studied. Two types of oxygen-deficient centers were found: ODC(I), ODC(II). It has been established that the implantation by rhenium ions causes to long-wavelength offset the singlet-singlet luminescence bands. The bands energy of triplet-singlet luminescence varies insignificantly.

Модификация оптических свойств функциональных материалов на основе SiO₂, полученных методом ионной имплантации, невозможна без детального

исследования радиационно-индуцированных дефектов и особенностей их электронной структуры.

Информативным инструментом для исследования оптических свойств кварцевого стекла могут выступать методы оптической и фотолюминесцентной спектроскопии.

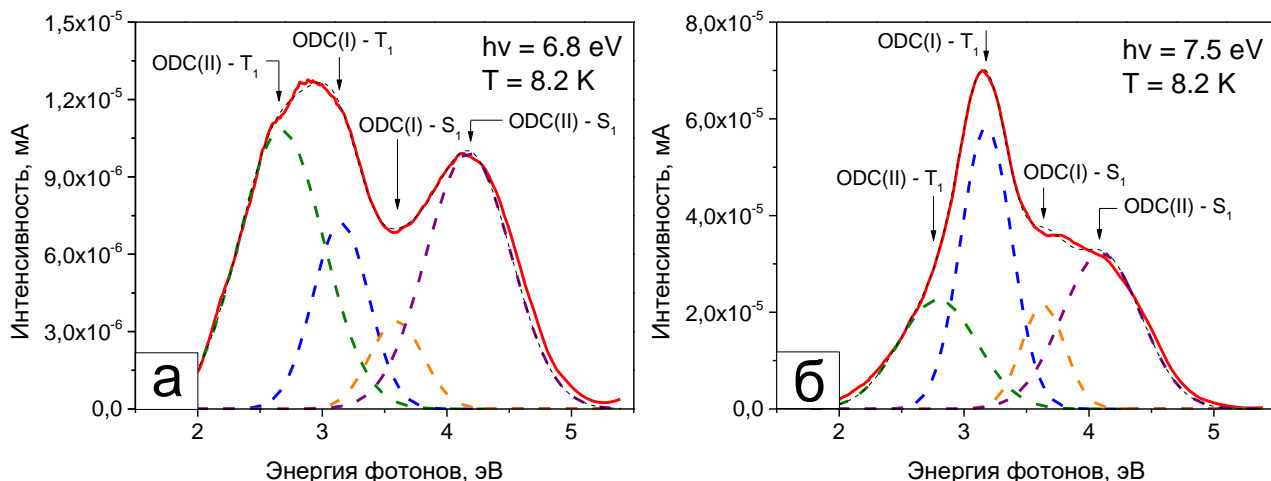


Рис. 1. Спектры ФЛ $\text{SiO}_2:\text{Re}^+$, измеренные при $T = 8.2 \text{ K}$ и энергии возбуждения: а – 6.8 эВ; б – 7.5 эВ. Пунктиром приведены результаты разложения спектров на гауссовы составляющие:

В спектрах оптического поглощения (ОП), измеренных в образцах кварцевого стекла, имплантированных ионами рения, обнаружены полосы 5.1, 5.8, 7.0 и 7.5 эВ кислородно-дефицитных центров (ODC) [1]. Оптическую полосу 5.8 эВ – связывают с трёхкоординированным атомом кремния (E'_γ), за полосы 5.1 и 7.0 эВ отвечает дивакансия кислорода ODC(II), 7.5 эВ – нейтральная кислородной вакансии ODC(I). В отличие от E'_γ – центров, дефекты ODC – типа являются люминесцирующими [2].

Методами фотолюминесцентной (ФЛ) спектроскопии, зарегистрированы полосы ФЛ кислородно-дефицитных центров при энергиях возбуждения 6.8 и 7.5 эВ. Из рис.1 видно, что полосы ФЛ 2.8 и 4.1 эВ наиболее эффективно возбуждаются фотонами с энергией 6.8 эВ (ODC(II)), а пара полос 3.2 и 3.7 эВ имеет наибольшую интенсивность при возбуждении фотонами 7.5 эВ (ODC(I)).

Сравнение положения максимумов полос ODC-центров для чистого диоксида кремния и для имплантированного ионами рения показало, что ионно-лучевое воздействие приводит к красному смещению полос синглет-синглетной люминесценции ODC(I, II) – типов на 0.3 – 0.6 эВ. При этом, положение полос триплет-синглетной люминесценции изменяется незначительно.

Полученные экспериментальные данные показывают возможность и реальные пути направленного изменения электронно-оптических параметров нано-

композитов $\text{SiO}_2\text{:Re}^+$ посредством ионно-лучевой модификации их локальной атомной и электронной структуры.

1. K.C. Snyder, W.B. Fowler. Phys. Rev. B, 48, 13238 (1993).
2. Skuja L. J. Non-Cryst. Solids 239, 16–48 (1998).

UP-CONVERSION EMISSION IN Gd_2O_3 DOPED WITH RE-IONS

Trofimova E.S.^{*}, Pustovarov V.A., Kuznetsova Yu.A., Zatsepin A.F.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: trofimova.e.s@yandex.ru

Gadolinium oxide is one of the perspective materials to use as a host material for photovoltaic and optoelectronic devices. When doped with activators, such as Er^{3+} , Gd_2O_3 can be used to convert electromagnetic energy of wide spectrum to visible light which is useful for alternative energy devices [1, 2].

The present paper studies the processes of electromagnetic radiation energy conversion (infrared) to visible range by study of $f \rightarrow f$ radiation transitions in Er^{3+} ions and its dependence on temperature. Transformation of PL spectra after e-beam irradiation on linear electron accelerator is also studied ($E = 10 \text{ MeV}$, fluence at least 10^{16} cm^{-2})

The objects were microstructured powders of Gd_2O_3 , doped with Er^{3+} ions, and co-doped with Yb^{3+} or Zn^{2+} ions [2]. Spectra were measured at the solid state physics laboratory in Ural Federal University under infrared excitation ($E_{\text{exc}} \ll E_g$) using laser diode ($\lambda = 980 \text{ nm}$) at temperature range 94-425 K.

Figure 1(a) shows temperature dependence of up-conversion emission yield at a wavelength $\lambda = 560 \text{ nm}$ ($^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ transition). Significant distinction is evident in the Yb^{3+} curve. It has maximum emission yield at room temperature and minimum at $T = 90 \text{ K}$. On the other hand, the dependence is almost linear for two other samples. This suggests that the population probability of $^4\text{F}_{7/2}$ excited electron states in Er^{3+} under intracenter excitation of Er^{3+} or as a result of the energy transfer from Yb^{3+} ion is affected by temperature.

Figure 1(b) shows PL spectra of $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{:Er}$ and $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{:Er+Zn}$ before and after e-beam irradiation. The main radiative transitions are shown. The emission yield for $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{:Er+Zn}$ after irradiation is increased at $\lambda = 560 \text{ nm}$ ($^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ transition), when decreased for Er^{3+} or Yb^{3+} . On the other hand, the $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ transition ($\lambda = 650 \text{ nm}$) yield for $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{:Er}$ and $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{:Er+Yb}$ is increased (not shown).

There are two possible explanations for spectra transformation: i) caused by a energy transfer from Er^{3+} ions excited states to radiation-induced crystalline lattice defects; ii) changes in phonon relaxation of Er^{3+} ions excited states through local pho-

non formation in the area of Er^{3+} -crystalline lattice defect pair. The e-beam irradiation effect shows opportunities to control the up-conversion Gd_2O_3 phosphor color.

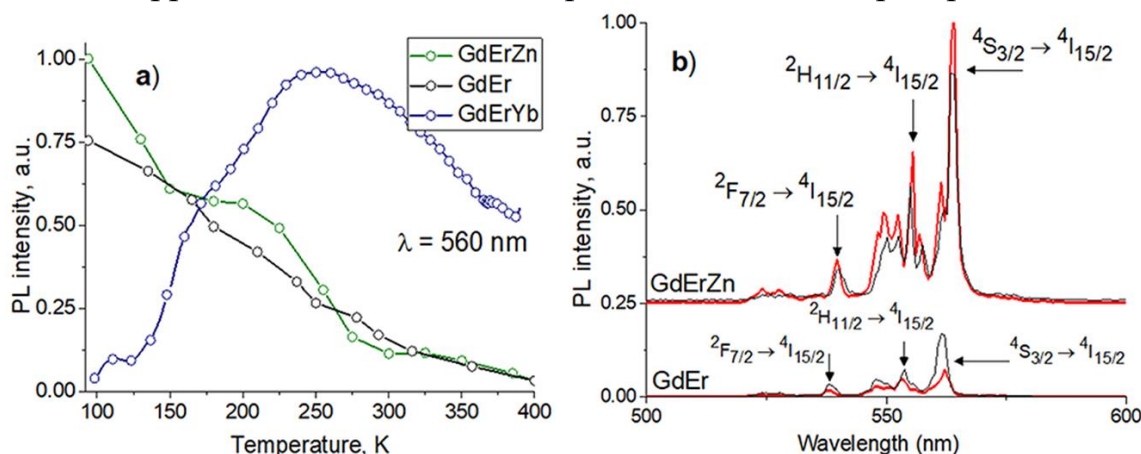


Figure 1. a – Temperature dependence of up-conversion emission yield ($\lambda_{\text{em}} = 560 \text{ nm}$) in $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Er}$ (with Yb^{3+} or Zn^{2+}); b – PL spectra of $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Er}$ and $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Er}+\text{Zn}$ before (black) and after e-beam irradiation (red), $T = 295 \text{ K}$

1. Kuznetsova Yu. A., Zatsepin A. F., Pustovarov V. A., Mashkovtsev M. A., Rychkov V. N., Journal of Physics: Conf. Series, 917, 052015 (2017).
2. Trofimova E. S., Pustovarov V. A., Kuznetsova Y. A., Zatsepin, A. F., AIP Conference Proceedings, 1886, 1 (2017).

ИЗУЧЕНИЕ ЭПР СПЕКТРОВ НАНОПОРИСТЫХ СТРУКТУР АНОДИРОВАННОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Ильин Д.О.^{1*}, Байтимиров Д.Р.¹, Вохминцев А.С.¹, Вайнштейн И.А.^{1,2}

¹) Уральский федеральный университет, НОЦ НАНОТЕХ, Екатеринбург, Россия

²) Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: d.o.ilin@urfu.ru

ESR SPECTRA STUDY OF ANODIZED ALUMINA NANOPOROUS STRUCTURES

Ilin D.O.¹, Baitimirov D.R.¹, Vokhmintsev A.S.¹, Weinstein I.A.^{1,2}

¹) Ural Federal University, NANOTECH Centre, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Solid State Chemistry, Ural Branch of the RAS, Yekaterinburg, Russia

Abstract. Different nanoporous structures of aluminum oxide were synthesized by anodic oxidation using electrolytes based on sulfuric, oxalic, phosphoric or hydrofluoric acids under potentiostatic mode. Photoluminescence and electron spin resonance spectra were studied at room temperature for grown samples. Values of g-factor – 2.015 ± 0.012 – were calculated using measured signals quantitative analysis. Origin of optically active centers responsible for observed blue emission in anodized alumina was discussed taking obtained results into consideration.

Структуры анодированного оксида алюминия (АОА) используют в качестве твердотельной основы для получения упорядоченных массивов наноматериалов, элементов микро- и оптоэлектроники, а также сложных композитных конструкций и т. п. Научный и прикладной интерес представляют композиционные люминофоры, обладающие люминесцентными характеристиками осажденного в поры материала и самого оксидного слоя. Известно, что для АОА данные свойства зависят от условий синтеза и определяются собственными и примесными дефектами, формирующимися на этапе роста оксидного слоя. Для получения информации о наличии, природе и концентрации таких оптически активных центров широко используется метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В настоящей работе изучены параметры ЭПР-спектров образцов нанопористого оксида алюминия, полученных анодированием в электролитах на основе различных кислот.

В качестве исходного материала была использована пластина из алюминия-технической чистоты (99.5 %) толщиной 500 мкм. Методом анодирования при постоянном напряжении было синтезировано четыре образца аморфного нанопористого Al_2O_3 с применением электролитов на основе $(\text{COOH})_2$, H_2SO_4 , H_3PO_4 и HF. Спектры свечения фотolumинесценции (ФЛ) при возбуждении в полосе 277 ± 10 нм были измерены в диапазоне длин волн 350–650 нм с помощью спектрометра Perkin Elmer LS 55 в режиме фосфоресценции. Спектры ЭПР были исследованы с использованием спектрометра Bruker ELEXSYS E580 в диапазоне магнитных полей 900–5900 Гс. Резонансная частота составляла 9.863 ГГц. Все измерения проводились при комнатной температуре.

Установлено, что для всех выращенных структур наблюдается полоса ФЛ с максимумом в области 440–480 нм. При этом наибольшей интенсивностью обладает губчатоподобный АОА, полученный в электролитах на основе HF. Показано, что спектры ЭПР для всех образцов, кроме окисленного во фтороводородной кислоте, характеризуются сложным сигналом в области ≈ 3500 Гс, форма которого варьируется в зависимости от типа электролита. Измеренные экспериментальные зависимости были аппроксимированы в рамках суперпозиции первых производных от лоренцианов с полной шириной между двумя точками максимального наклона $\Delta H_{\text{max}} = 10\text{--}34$ Гс. Получено, что расчетное значение g-фактора лежит в пределах 2.003–2.027 и является характерным для положительно заряженных центров F-типа в Al_2O_3 . По результатам выполненных исследований был проведен сравнительный анализ известных данных для парамагнитных центров свечения в нанопористых структурах АОА и объемных кристаллах оксида алюминия.

1. Ilin D.O., Vokhmintsev A.S., Martemyanov N.A., Weinstein I.A., IOP Conf. Series: J. Phys.: Conf. Series., 917, 062061 (2017).

UPCONVERSION LUMINESCENCE OF Er^{3+} DOPED KPb_2Cl_5 AND RbPb_2Br_5 CRYSTALS

Serazetdinov A.R.¹, Smirnov A.A.^{1*}, Pustovarov V.A.¹, Isaenko L.I.²

¹Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

*E-mail: a.a.smirnov@urfu.ru

The rare earth doped (potassium, rubidium)-lead double (chloride, bromide) APb_2X_5 : ($\text{A} \equiv \text{K}, \text{Rb}$; $\text{X} \equiv \text{Cl}, \text{Br}$) crystals comprise the materials with essentially reasonable UV and IR light emitting spectra characteristics for fibre optics applications. The APb_2X_5 crystals are reported as low hygroscopical, easy in processing and low phonon materials. The change in the doping ions concentration in the lattice as well as doping with additional (non- Er^{3+}) ions alter the luminescence spectra so that medium with appropriate performance might be derived [1].

In current work the research concerned two Er^{3+} doped crystal samples, namely RbPb_2Br_5 : Er^{3+} and KPb_2Cl_5 : Er^{3+} . Particularly these samples have already been investigated in terms of luminescence dependence on excitation energy measurement [2]. The results of the research might be taken into consideration in optical devices projecting, especially for non-temperature stabilized systems.

The main goal of our research is to reveal the actual upconversion luminescence dependence over temperature and match the results obtained with theoretical conclusion of Er^{3+} levels population through Judd-Offelt method.

Crystals were grown in Institute of Geology and Mineralogy SB RAS (Novosibirsk). Crystal validation methods are described in [3]. The samples were prepared in the form of plane-parallel plates $7 \times 7 \times 1 \text{ mm}^3$ in size with polished laser-quality surfaces.

Upconversion luminescence spectra were measured at temperature range from 90 K up to 413 K for KPb_2Cl_5 : Er^{3+} and up to 358 K for RbPb_2Br_5 : Er^{3+} . Decay kinetics were measured for defined wavelength at 25 K.

We have discovered the dependence of luminescence spectra on the temperature of the sample for a predetermined excitation energy. In our experiments the crystals have been subjected to 980 nm GaAs laser diode illumination, i.e. upconversion luminescence have been observed. The measurements revealed significant luminescence spectrum change in both crystals for erbium ion emission wavelengths of 530 and 550 nm (transfers $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ and $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$) which are of deep interest for fibre optics applications.

In addition 980 nm upconversion luminescence spectrum under room temperature for 10 MeV electron beam irradiated KPb_2Cl_5 : Er^{3+} crystal was derived.

In the second part of the research luminescence decay kinetics for abovementioned wavelengths under the different excitation energies have been measured. These

dependencies allowed us to assume the respective energy transactions through the rare-earth ion, including non-radiative multiphonon relaxation process.

As the transaction life time for determined energy is in correlation to the level population probability (through Judd-Offelt equations) we have calculated the Judd-Offelt predictions and compared them with the results of decay kinetics measurements and luminescence spectra parameters derived in our previous and current researches.

Some of the main research results related to temperature dependencies are presented in Fig. 1. These spectra are normalized on the respective amount of 980 nm photon excitation taken place. As it is seen from the spectra the luminescence is efficiently influenced by temperature so that 980 nm excitation efficiency with higher temperatures is lower at 490 nm and higher at 530 and 550 nm.

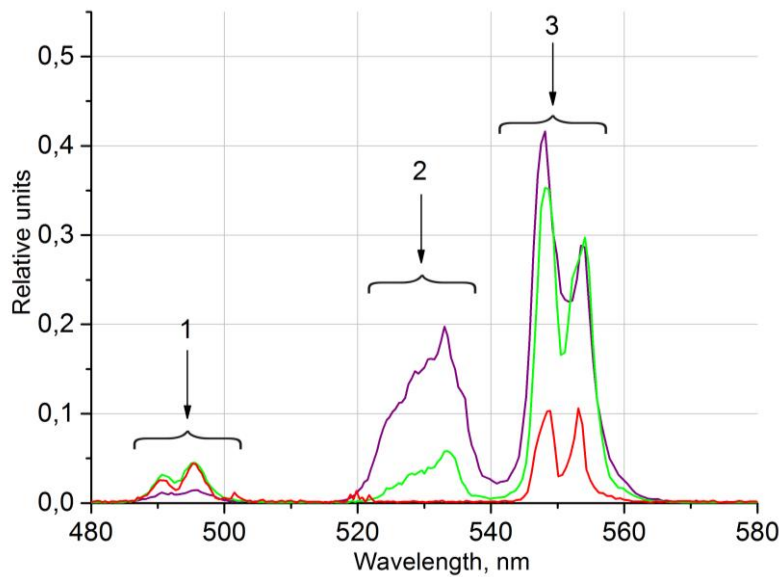


Fig. 1. Upconversion spectra of $\text{KPb}_2\text{Cl}_5:\text{Er}^{3+}$ crystal at 90 K (red), 267 K (green) and 413 K (purple). Marked transfers are: 1 – $^4\text{F}_{7/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, 2 – $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, 3 – $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$

1. Isaenko L., Yelisseyev A., Tkachuk A., Ivanova S. et al., Materials Science and Engineering B., 81, 188 (2001).
2. Serazetdinov A.R., Smirnov A.A., Pustovarov V.A., and Isaenko L.I., AIP Conference Proceedings, 1886, 020078 (2017).
3. Pustovarov V.A., Ogorodnikov I.N., Kuzmina N.S., Smirnov A.A. et al., HASYLAB Annual Repor, 277-278 (2004).

РАЗРАБОТКА ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО СОЛНЕЧНОГО КОНЦЕНТРАТОРА

Алсейтова А.Е. *, Кайнарбай А.Ж.

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

E-mail: alseitova.ayaulym@gmail.com

DEVELOPMENT OF LUMINESCENT SOLAR CONCENTRATOR

AlseitovaA.Ye. *, KainarbayA.Zh."

L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

Annotation. This article describes the work of a luminescent solar concentrator. The main advantage of luminescent solar concentrators is that they can replace conventional solar panels in the form of a classic flat photovoltaic panels, reducing the cost of energy conversion. It is important that the LSC can absorb not only direct sunlight but also diffuse to other sites rays. This means that the hub does not necessarily follow the position of the Sun in the sky.

Люминесцентный солнечный концентратор (ЛСК) представляет собой устройство, которое содержит тонкий лист материала (обычно – полимера, легированного органическими красителями, квантовыми точками или редкоземельными комплексами), который поглощает свет на большой площади. Концентратор переизлучает поглощенное излучение, направляя световой поток на фотоэлектрические элементы установленные по краям пластины [1-3]. К достоинствам люминесцентных солнечных концентраторов следует отнести следующее: в отличие от обыкновенных солнечных панелей, фотоэлектрические преобразователи покрывают не всю их рабочую поверхность, а располагаются на гранях. Следовательно, их нужно значительно меньше, что существенно снижает стоимость; ЛСК прозрачны для части видимого спектра, что позволяет использовать их, например, для витражей.

В работе мы устраняем основной недостаток ЛСК проявляющийся в поглощении излучения другими центрами люминесценции. Из-за которого большая часть переизлученной энергии не достигает солнечных элементов, то есть не преобразуется в электричество. Для этого полимерный материал легирован квантовыми точками, отличающимися нулевым «самопоглощением». Квантовые точки перепоглощают высокоэнергетическое УФ-излучение в соответствии со спектром поглощения и люминесценции, рисунок 1.

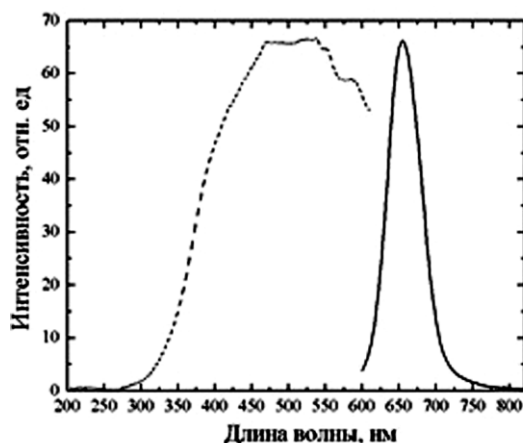


Рис. 1. Спектры поглощения и люминесценции квантовых точек CdTe/CdS

1. Slooft L.H., Burgers A.R., Bende E., Proc. Of SPIE, Vol.7002, 700209-1-7.
2. Verbunt P.P.C., Debije M.G., World Renewable Energy Congress, 8-13 May, 2011, Linkoping, Sweden.
3. Гранчак В.М., Сахно Т.В., Кучмий С.Я. Теоретическая и экспериментальная химия, Т.50, №1, –С.1-20, (2014).

ВЛИЯНИЕ АМОРФНОГО УГЛЕРОДА НА СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК (ZnO/C)₈₁

Панков С.Ю.^{1*}, Жилова О.В.¹, Макагонов В.А.¹

¹⁾ Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

*E-mail: srgpank@mail.ru

INFLUENCE OF AMORPHOUS CARBON ON THE STRUCTURE AND ELECTRICAL PROPERTIES OF (ZnO/C)₈₁ THIN FILMS

Pankov S.Yu.^{1*}, Zhilova O.V.¹, Makagonov V.A.¹

¹⁾ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

(ZnO/C)₈₁ thin films was prepared by ion beam sputtering. Analysis of the structure for resulting thin films showed that the ZnO layers are in the nanocrystalline state, and the carbon layers are in amorphous state. By adding amorphous carbon, the process of recrystallization in (ZnO/C)₈₁ thin films was reduced in comparison with ZnO films (grain size increase).

Оксидные полупроводники активно применяются в качестве материалов сенсоров различных газов. Повышение чувствительности таких детекторов возможно при использовании наноструктурированных материалов, с размером зерна порядка нескольких десятков нанометров. Однако стабильность их сенсорных свойств снижается из-за процессов рекристаллизации при высоких ра-

бочих температурах (до 400°C). Одним из способов повышения температуры рекристаллизации и подавления процесса роста зерен является получение гетерогенных наносистем.

Целью работы являлось получение наноструктурированного материала на основе ZnO с добавлением аморфного углерода, изучение его структуры и электрических свойств.

Для этого, методом ионно-лучевого распыления, были получены тонкопленочные гетерогенные структуры послойным осаждением ZnO и C из двух мишеней (керамики ZnO и графита) ZnO/C. В качестве подложки использовался ситалл марки СТ-50. Количество полученных таким способом бислоев для многослойной структуры (ZnO/C)₈₁ равнялось 81. Толщина слоев ZnO и прослоек аморфного углерода в полученных многослойных наноструктурах изменялась от 0,1 до 5 нм.

Рентгеноструктурный анализ тонких пленок (ZnO/C)₈₁ показал наличие рефлексов от прослоек оксида цинка в составе многослойной структуры (ZnO/C)₈₁, имеющего гексагональную кристаллическую структуру с группой симметрии P6₃mc, которые характеризуются текстурой с осью <001>, перпендикулярной плоскости подложки, что связано с особенностями формирования кристаллической структуры в процессе синтеза образцов. Для определения размеров кристаллитов был проведен расчет областей когерентного рассеяния в исходных пленках ZnO и (ZnO/C)₈₁ до и после термической обработки при различных температурах. Результаты приведены на рисунке 1.

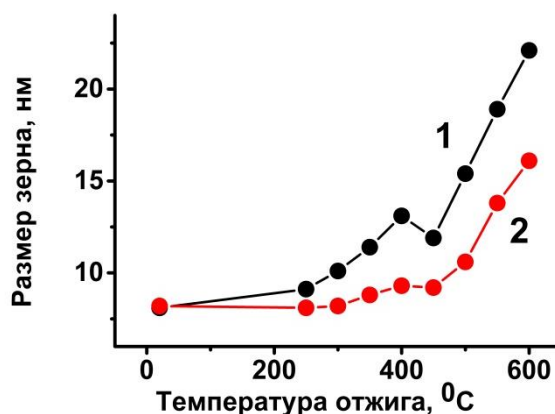


Рис. 1. Размер кристаллитов в пленке ZnO (1) и в пленке (ZnO/C)₈₁ (2) до и после термической обработки.

Согласно полученным данным, путем добавления аморфного углерода удалось снизить процесс рекристаллизации в пленках (ZnO/C)₈₁ по сравнению с пленками ZnO.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки в рамках проектной части государственного задания (проект № 3.1867.2017/4.6).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В КЛАСТЕРНЫХ СИСТЕМАХ С ГЛУБОКИМИ ЛОВУШКАМИ

Мережников А.С., Никифоров С.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: mereshnikov.artiom@gmail.com

SIMULATION OF DOSE RESPONSE OF THERMOLUMINESCENCE IN CLUSTER SYSTEMS WITH DEEP TRAPS

Merezhnikov A.S., Nikiforov S.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work simulation of thermoluminescence dose response in cluster systems was carried out. It was found that deep traps in clusters can affect the dose dependence on heating rate. Also influence of deep trap occupation on dose response was studied.

Нелинейные дозовые зависимости термостимулированной люминесценции (ТЛ) обнаруживаются в большинстве люминесцентных материалов. Для описания дозовой характеристики можно использовать соотношение $I_{\text{sum}} \sim D^k$, где I_{sum} – суммарный выход ТЛ, D – доза излучения, k – параметр, характеризующий нелинейность дозовой зависимости [1]. Значения $k > 1$ соответствуют сверхлинейности дозовой характеристики.

Теоретически характер дозовых зависимостей изучается в рамках кинетики ТЛ – моделях, в которых имитируется процесс переноса заряда между различными энергетическими состояниями. Одним из перспективных направлений является моделирование процесса переноса заряда в наноструктурных материалах. В них разрешенные состояния объединены в кластеры, между которыми при высоких температурах возможен перенос заряда через зону проводимости. В дополнение к этому представляет интерес изучение влияния глубоких ловушек, входящих в состав таких кластеров, на дозовую характеристику ТЛ.

Целью данной работы являлось моделирование дозовых зависимостей ТЛ в системе с кластерами, содержащими основные и глубокие электронные ловушки.

Рассматриваемая модель ТЛ состояла из центров свечения и кластерных дефектов, включающих одну электронную ловушку и большое количество глубоких электронных ловушек. Для получения дозовых зависимостей выхода ТЛ моделировались стадии облучения, релаксации и нагрева. Нагрев осуществлялся по линейному закону. Дозовые зависимости ТЛ были изучены при различной скорости нагрева на стадии термостимуляции при незаполненных глубоких ловушках (рис.1). Как видно из рисунка, при относительно малых дозах выход ТЛ

возрастает по линейному закону. При больших дозах наблюдается ярко выраженный участок сверхлинейности, переходящий в насыщение. Важной особенностью дозовых кривых рис.1, напрямую связанной с наличием в системе кластерных дефектов, является зависимость выхода ТЛ и степени сверхлинейности от скорости нагрева. При этом с ростом скорости нагрева нелинейность дозовой характеристики уменьшается, а выход ТЛ при малых дозах растет.

В работе также было изучено влияние соотношения параметров захвата для основных и глубоких ловушек, а также их заселенности, на характер дозовых кривых ТЛ.

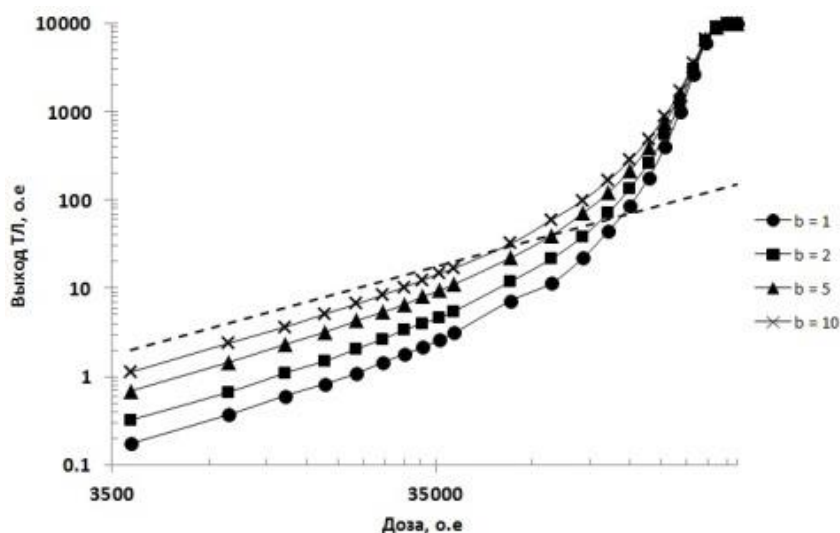


Рис. 1. Дозовые характеристики ТЛ, рассчитанные при различной скорости нагрева b (1, 2, 5 и 10 К/с соответственно). Пунктирная линия соответствует линейной зависимости.

1. A. Halperin, R. Chen. Phys. Rev. 148, 839 (1966) .

РАЗДЕЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВ ПРИ ИСПАРЕНИИ ИЗ ДВУХ- И ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СМЕСИ И ЕЕ ОПТИМИЗАЦИЯ

Мелких А.В.^{*}, Скворцов Д.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: melkikh2008@rambler.ru

SEPARATION OF SUBSTANCES DURING EVAPORATION FROM TWO- AND THREE-COMPONENT MIXTURE AND ITS OPTIMIZATION.

Melkikh A. V., Skvortsov D. V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The problem of separation of substances during evaporation of two- and three-component mixture is considered. The system equations for the conservation of components in the two-component mixture, assuming an isothermal environment and a good mixing of the solution, is solved analytically. The dependence of the separation coefficient of the mixture on the height of the liquid layer remaining in the evaporation process is obtained.

Разделение веществ во время испарения растворов со свободной поверхностью является общим процессом в природе и технологии. Разделение веществ используется для отбора чистых компонентов во многих технологиях, помимо этого содержание смеси компонентов (включая изотопы) может быть индикатором скорости испарения, а также параметров смеси и окружающей среды. Например, содержание изотопов водорода используется в качестве индикатора изменений климата в прошлом (см., например, [1, 2]). Однако закономерности процесса разделения двух, трех и многокомпонентных растворов при испарении веществ остаются в значительной степени неясными. В каких условиях становится эффективным разделение веществ путем испарения? Какие значения могут обеспечить наибольший коэффициент разделения? Каковы самые низкие затраты, требуемые для разделения смеси в определенной степени? Чтобы ответить на эти и другие вопросы, рассмотрим модель испарения многокомпонентной смеси со свободной поверхностью.

Рассмотрим трехкомпонентную смесь с условием хорошего перемешивания. Необходимо отметить, что данное условие налагается вследствие наблюдения в трехкомпонентных смесях газов в гравитационном поле явления, называемого «аномальной гравитационной неустойчивостью» (см., например, [3]).

Уравнения для трех компонентов будут

$$\frac{d}{dt}(hn) = -\frac{1}{4}n_1\langle v_1 \rangle e^{-\frac{E_1}{kT}} - \frac{1}{4}n_2\langle v_2 \rangle e^{-\frac{E_2}{kT}} - \frac{1}{4}n_3\langle v_3 \rangle e^{-\frac{E_3}{kT}} \quad (1)$$

$$\frac{d(hn_1)}{dt} = -\frac{1}{4}n_1\langle v_1 \rangle e^{-\frac{E_1}{kT}} \quad (2)$$

$$\frac{d(hn_2)}{dt} = -\frac{1}{4}n_2\langle v_2 \rangle e^{-\frac{E_2}{kT}} \quad (3)$$

Рассмотрим случай, когда концентрация двух компонентов значительно меньше третьей. Этот случай соответствует слабому раствору двух веществ в растворителе. Покажем, что когда компоненты смеси существенно не отличаются друг от друга по своим свойствам (в основном, в случае изотопов), система уравнений может быть решена аналитически. В результате решения системы получено

$$\frac{c_2 h}{c_{20} h_0} = \left(\frac{(1-c_1-c_2)h}{c_{30} h_0} \right)^{b_{23}}, \quad (4)$$

где

$$b_{23} = \frac{\langle v_2 \rangle e^{-\frac{E_2}{kT}}}{\langle v_3 \rangle e^{-\frac{E_3}{kT}}}. \quad (5)$$

Итогом проведенной работы является построенная модель разделения веществ при испарении двух- и трехкомпонентных смесей. Показано, что модель испарения тройной системы может быть решена аналитически в случае, когда концентрация двух компонентов значительно меньше третьей.

1. Huang, Y.; Shuman, B.; Wang, Y.; Webb, T. *Geology*. 30, 1103 (2002).
2. Huang, Y.; Shuman, B.; Wang, Y.; Webb, T. *J Paleolimnol*. 31, 363–375 (2004).
3. Kosov, V.N.; Seleznev, V.D.; Zhavrin, Y.I. *Tech Phys*. 42, 1236–1237 (1997).

КОЛЛОИДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ CdTe СИНТЕЗ, ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Думич А.С.*, Кайнарбай А.Ж.

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

E-mail: dumich-a@mail.ru

COLLOIDAL QUANTUM DOTS CdTe: SYNTHESIS, OPTICAL AND PHOTOVOLTAIC PROPERTIES

Dumich A.A., Kainarbay A.Zh."

L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

Annotation. The main objective of the work is to master the method of colloidal synthesis of quantum dots, to study the influence of impurities and the molecular environment on the optical and photovoltaic properties of CdTe quantum dots.

Квантовые точки (КТ) представляют собой полупроводниковые нанокристаллы, размеры которых достаточно малы и лежат в промежутке от 10-20 нм. Известно, что одна квантовая точка может состоять из нескольких сотен ато-

мов, поэтому квантовые точки лежат в интервале между твердыми телами и отдельными атомами. Основными особенностями квантовых точек является то, что в них проявляются квантовые свойства электронов, из-за столь малых размеров. Подобно настоящему атому, квантовая точка может содержать один или несколько свободных электронов [1].

КТ обладают рядом преимуществ таких как: широкий спектр поглощения, высокая фотостабильность и яркость свечения, широкий спектр возбуждения от УФ до ИК, высокая чистота цвета, высокая устойчивость к химической деградации и т.д. [2].

В настоящее время КТ находят все большее применение в различных областях науки и техники, а именно в производстве высокопроизводительных солнечных батарей, фотодиодов и фотодетекторов, также стали развиваться дисплеи и лазеры на квантовых точках [3].

В настоящее время имеется достаточно большое число способов синтеза нанокристаллов. КТ наилучшего качества получены методом роста в неполярных средах – методом, предложенным С. В. Murray в 1992 году. [4] Этот метод обладает рядом преимуществ: возможность контроля процесса роста квантовых точек, хорошая пассивация поверхностных состояний КТ, узкое распределение по размерам (на уровне 5-8%), возможность последующего выделения и очистки КТ. Синтез проходит в 3 основные стадии: нуклеация, рост зародышей и стадия созревания Оствальда.

В работе под названием мы останавливаем внимание на вопросе освоение различных методик получения квантовых точек CdTe. Основной задачей является: освоение метода коллоидного синтеза квантовых точек, изучение влияние примесей и молекулярного окружения на оптические и фотовольтаические свойства квантовых точек CdTe.

1. Васильев Р. Б., Дирин Д. Н. МГУ, Москва, (2007). - С. 2–34.
2. Федоров А.В.. Оптика наноструктур. СПб «Недра» (2005).
3. Исследовательская группа V. Klimov <https://quantumdot.lanl.gov>
4. <https://pechatnick.com/articles/kvantovie-tochki-poligrafiya-i-drygie-oblasti-primeneniya>
5. Murray C.B., Sun S., Gaschler W., Doyle H., Betley T.A., Kagan C.R. IBM J. Res. and Dev., 45, 47-56 (2001).

ТЕПЛОВАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПЕРЕГРЕТЫХ БИНАРНЫХ РАСТВОРОВ

Игольников А.А.^{1*}, Поволоцкий И.И.², Волосников Д.В.², Скрипов П.В.²

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт теплофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: prizrak993@mail.ru

THERMAL CONDUCTIVITY OF OVERHEATED BINARY SOLUTIONS

Igolnikov A.A.^{1*}, Povolotsky I.I.², Volosnikov D.V.², Skripov P.V.²

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of thermal physics Ural Branch of RAS

Annotation. In this work we investigate the following hypothesis: placement of a second substance in the pure system leads to the appearance of additional thermal resistance. In order to prove it, we used temperature plateau method. By means of which, we determined the values of the additional thermal resistance of the following solutions: isopropanol-water, isopropanol-ethylene glycol, isopropanol-triethylene glycol, and triethylene glycol-water. Experiments were carried out at atmospheric pressure and temperatures of the samples up to 180 °C.

Свойства растворов могут существенно отличаться от аддитивных значений свойств составляющих их компонентов. Применительно к тепловой проводимости растворов, ключевой характеристике теплообмена при мощном тепловыделении, высказана следующая гипотеза: внесение в чистую систему второго компонента приводит к появлению дополнительного (относительно аддитивной величины) теплового сопротивления. Обнаружено, что повышение объема смешения раствора сопровождается снижением его тепловой проводимости. Для выяснения степени общности данной гипотезы были проведены опыты с классом растворов, характеризующимся отрицательными значениями объема смешения. Исходя из запросов импульсных технологий, измерения выполнены, наряду с областью устойчивых состояний, в широкой области перегретых (относительно линии равновесия жидкость-пар) состояний, недоступных традиционным методам.

С помощью метода температурного плато [1, 2], определена величина дополнительного теплового сопротивления (обратная величина тепловой проводимости) растворов: изопропанола с водой, этиленгликолем и триэтиленгликолем, а также водного раствора триэтиленгликоля. Опыты проведены при атмосферном давлении и температурах образцов до 180°C. Обнаружено, что, вопреки формальной экстраполяции зависимости тепловой проводимости от объема смешения, растворам с отрицательным объемом смешения также свойственно снижение тепловой проводимости во всем диапазоне изменения концентрации.

Данное обстоятельство целесообразно учитывать при выборе теплоносителя для процессов с мощным тепловыделением.

1. А.В. Багинский, Д.В. Волосников, П.В. Скрипов, А.А. Смотрицкий. Теплофизика и аэромеханика 15, 3, 399 (2008)
2. Д.В. Волосников, А.В. Сивцов, П.В. Скрипов, А.А. Старостин. Метод управляемого импульсного нагрева для определения свойств короткоживущих жидкостей // ПТЭ, 2000, №1, С. 146-151

INVESTIGATION OF PIEZOELECTRIC AND ELASTIC PROPERTIES OF DIPHENYLALANINE MICROTUBES – OXIDE NANOPARTICLES COMPOSITES

Yuzhakov V.V.^{1*}, Koryukova T.A.¹, Zelenovskiy P.S.¹, Vasilev S.G.¹,
Gunina E.V.¹, Chezganov D.S.¹, Kholkin A.L.^{1,2}, Shur V.Ya.¹

¹⁾ School of Nature Science and Mathematics, Ural Federal University, 620000, Ekaterinburg, Russian Federation

²⁾ Physics Department & CICECO – Materials Institute of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

*E-mail: vladimir.yuzhakoff@mail.ru

It is known that the combination of organic and inorganic components can lead to the formation of materials with better characteristics than those of individual components and endow it with new various functional properties (magnetic, piezoelectric, electrical, optical, etc.) [1]. So, the study of the physical properties of hybrid organo-inorganic micro- and nanostructures is interesting for fundamental science as well as for practical using.

In this work we present the results of the investigation of the effect of oxide nanoparticles (NP) TiO₂, ZnO, and SiO₂, created by laser ablation in a liquid, on the piezoelectric and elastic properties of diphenylalanine (C₁₈H₂₀N₂O₃, FF) microtubes.

We created FF-NP hybrid systems by the method of synthesis from a common solvent. An alcoholic solution of FF was mixed with a colloidal solution of NP with different concentrations. Droplets of the resulting solution were applied to conductive substrates and dried under natural conditions with formation of nano- and microtubes.

Local measurements of the Young modulus of the obtained composites were performed using nano-hardness tester NanoScan-4D (FSBI TISNCM, Russia). Piezoelectric properties were studied by atomic force microscopes Asylum MFP-3D (Asylum Research, Oxford Instruments, UK) and Ntegra Aura (NT-MDT, Russia).

We found that all types of used nanoparticles promoted formation of voids and cavities in diphenylalanine microtubes thus reducing the effective Young's modulus and lateral piezoelectric coefficient of the composite. At the same time, embedding of

piezoelectric ZnO nanoparticles provided noticeable vertical piezoresponse normally absent in single-component diphenylalanine microtubes [2]. The obtained results demonstrate the ability to control the properties of self-assembling composite biomaterials by nanoparticles.

The research was carried out using equipment of the UCSU "Modern Nanotechnologies" (UrFU) with the financial support of the grant of the President of the Russian Federation for Young Scientists (MK-2294.2017.2) and the Government of the Russian Federation (Resolution 211, contract 02.A03.21.0006).

1. Pomogailo A.D., Russ. Chem. Rev. 69 (1), 60 (2000).
2. Vasilev S.G., Zelenovskiy P.S. et al., J. Phys. Chem. Sol. 93, 70 (2016).

СТРУКТУРА ГРАДИЕНТНЫХ ПЛЕНОК Ni-ZrO₂ ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ МАГНЕТРОННОГО ВЧ НАПЫЛЕНИЯ В РЕАКТИВНОЙ СРЕДЕ (Ar+O₂)

Филатов М.С.*, Стогней О.В.

Воронежский государственный технический университет г. Воронеж, Россия

*E-mail: 36nord36@mail.ru

STRUCTURE OF GRADIENT FILMS Ni-ZrO₂ SYNTHESIZED BY MAGNETIC HF SPRAYING IN A REACTIVE MEDIUM (Ar+O₂)

Filatov M.S.*, Stogney O.V.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Annotation. In this paper we have established the effect of oxygen pressure on the structure of gradient films. It found that with increasing pressure of oxygen there is an increase in the amount of amorphous phase of zirconium oxide.

Интерес к исследованию градиентных наноструктурированных покрытий обусловлен возможностью создания структуры с изменяющейся по толщине концентрацией элементов. В данной работе с помощью магнетронного ВЧ реактивного напыления были получены градиентные пленки Ni-ZrO₂. Изменение концентрации никеля и диоксида циркония происходило за счет изменения мощности, подаваемой на магнетроны, распыляющие никелевую и сплавную (ZrY) мишени. Так, в начальный момент времени на магнетрон с никелевой мишенью подавалась мощность равная 600 Вт, а на магнетрон с мишенью ZrY подавалось 100 Вт. В процессе напылений происходило постепенное изменение мощности (Ni↓, ZrY↑) на обоих магнетронах. Изменение, вследствие этого, плотности атомных потоков Ni и ZrY позволяло получать покрытия с градиентным распределением элементов.

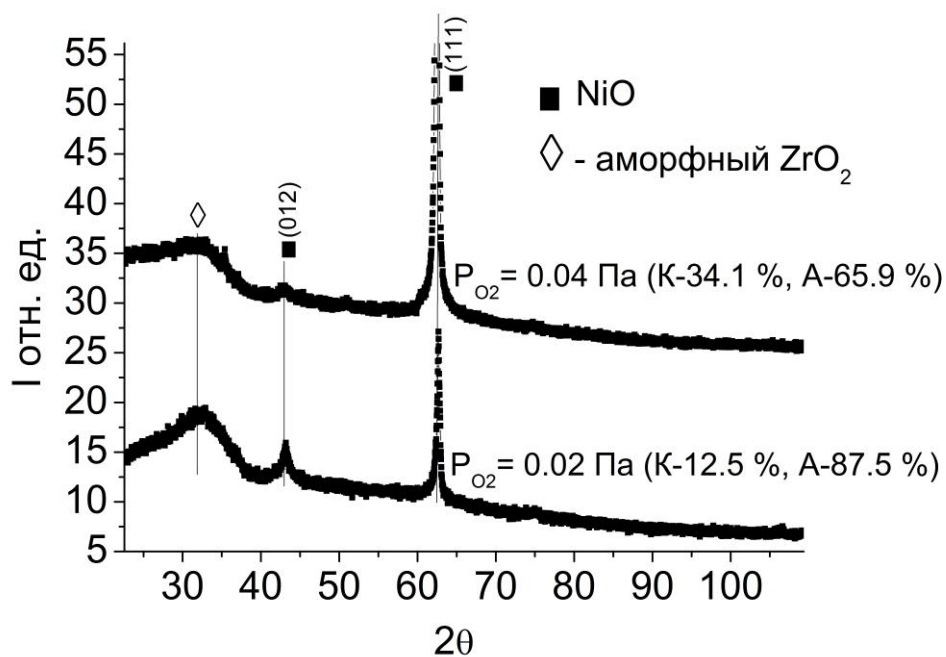


Рис. 1. Рентгенограммы градиентных пленок полученных с помощью магнетронного ВЧ напыления в реактивной среде (Ar+O₂) с разным давлением O₂

Исследовано влияние парциального давления кислорода на структуру градиентных пленок. Структура полученных пленок (рис. 1) похожа на структуру изотропных композитов Ni_x(ZrO₂)_{100-x}, полученных в смешанной атмосфере (Ar+O₂) с повышенным давлением кислорода, и находящихся за порогом перколяции (Ni > 50 ат. %) [1]. Однако, в направлении NiO (111) наблюдается текстура. Так как градиентные пленки представляют собой смесь кристаллического оксида никеля и рентгено-аморфного ZrO₂, объемную долю этих фаз определяли с помощью анализа экспериментальных дифрактограмм. Установлено влияние давления кислорода на соотношение долей кристаллического оксида никеля и рентгено-аморфного оксида циркония. В случае P_{O2} = 0.04 Па доля NiO (кристаллическая часть) составила 34.1 %, доля оксида циркония (аморфная часть) 65.9 %. В случае P_{O2} = 0.02 Па доля NiO (кристаллическая часть) составила 12.5 %, а доля аморфной части, в данном случае это ZrO₂ составила 87.5 %.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-42-360778 p_a.

1. Filatov M. S., Stognei O. V., Antonova M. S., Journal of Physics: Conf. Series, 872 (2017)

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНЫХ ПАНЕЛЕЙ С НАНОКОМПОЗИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ ФЕРРОМАГНИТНЫЙ МЕТАЛЛ - ДИЭЛЕКТРИК

Тарасова О.С., Новичихина А.П., Ситников А.В.

Воронежский Государственный Технический Университет, г. Воронеж, Россия

*E-mail: oksanchik2603@mail.ru

HIGH-FREQUENCY PROPERTIES OF SPATIALLY INHOMOGENEOUS PANELS WITH NANOCOMPOSE COATING FERROMAGNETIC METAL-DIELECTRIC

Tsrasova O.S., Novichikhina A.P., Sitnikov A.V.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Annotation. In this paper, the magnetostatic and magnetodynamic properties of thin-film composite samples obtained on spatially inhomogeneous polymer substrates were investigated. The frequency dependence of the absorption coefficient was also studied.

Высокочастотные магнитные свойства нанокompозитов лежат в основе создания перспективных радиопоглощающих покрытий для устройств СВЧ техники. Однако, в настоящее время механизмы формирования эффективной высокочастотной (ВЧ) магнитной проницаемости нанокompозитов малоизучены. Для исследования влияния морфологии подложек на поглощение электромагнитной волны в СВЧ диапазоне, с помощью технологии трехмерной печати были получены пространственно-неоднородные полимерные подложки. На подложках, методом ионно-лучевого напыления, было получено нанокompозиционное покрытие $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{60}(\text{SiO}_2)_{40}$. Пленка имела толщину порядка 1,6 мкм. Размер образца составлял 360x360 мм². На ситалловых подложках (образцах свидетелях) проведены измерения намагниченности нанокompозиционного покрытия методом вибрационного магнитометра. Измерения показали, что $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{60}(\text{SiO}_2)_{40}$ являются ферромагнитными, с полем анизотропии в плоскости порядка 21 Э и коэрцитивной силой 8 Э. Удельное электрическое сопротивление покрытия составляло 10⁻⁴ Ом·м. С помощью рупорного метода, исследованы частотные зависимости коэффициента поглощения L. Измерение проводилось по схеме «отражение на металле». На рис. 1 представлен спектр поглощения L в зависимости от частоты электромагнитного излучения в диапазоне частот 6 - 20 ГГц. По мере увеличения частоты излучения наблюдается плавное возрастание коэффициента поглощения от 0 до 4.5 дБ. Отсутствие резонансных частот поглощения в данном диапазоне, возможно, обусловлены более низкой частотой естественного ферромагнитного резонанса для пленок. При данной величине поля анизотропии он составляет ~ 1,1 ГГц. Резонансы связан-

ные со структурой подложки, возможно, не выявлены в связи с высоким удельным электрическим сопротивлением функционального покрытия.

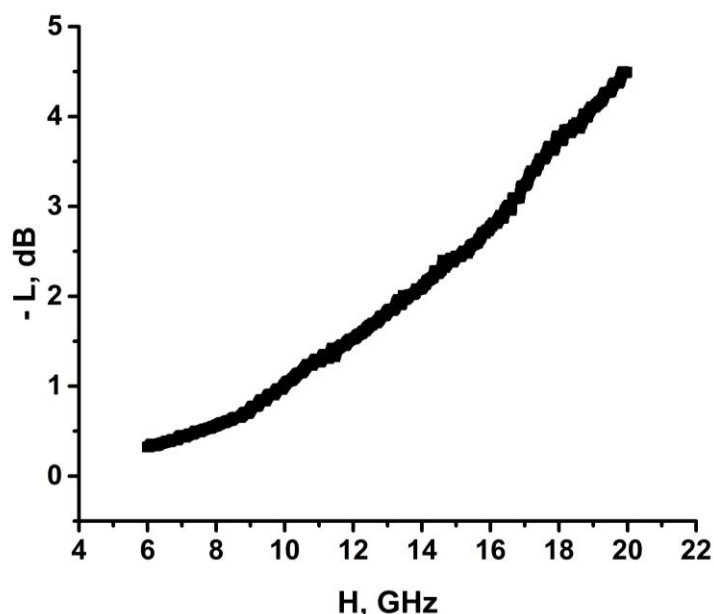


Рис. 1. Спектр поглощения L в зависимости от частоты электромагнитного излучения

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-45-360483 p_a и министерства образования и науки в рамках проектной части государственного задания № . 3.1867.2017/ПЧ.

О ВКЛАДЕ ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ МЁРЗЛЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Перфильев Р.О.*, Волков А.С., Копосов Г. Д.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Россия

*E-mail: perfilev.roman@gmail.com

ABOUT CONTRIBUTION OF DOUBLE ELECTRIC LAYER TO THE DIELECTRIC PERMEABILITY OF FROZEN DISPERSE SYSTEM

Perfilev R.O.*, Kopusov G.D., Volkov A.S.

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

The results of investigation of the moisture dependences of the real and imaginary parts of permeability of frozen disperse system based on quartz powder are introduced. These results indicate that decisive contribution to the dielectric conductivity in temperature range from -140 to -60°C is played by a double electric layer.

Господствующая парадигма об электрических мёрзлых дисперсных структурах состоит в том. Что эти электрические свойства определяются льдом. Но исследование особенно при низких температурах давали результаты, далёкие от свойств льда. С целью сканирования изменения диэлектрической проницаемости по мере заполнения льдом порового пространства в порошковых средах было предпринято исследование влажностных зависимостей действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости.

Методика исследования базировалась на использовании диэлькометра Novocontrol Concept 80. Для исследования были выбраны влажности от 3 до 13% с шагом 2%. Измерялись частотно-температурные зависимости диэлектрической проницаемости.

Результаты эксперимента представлены на рис. 1 в виде частотных зависимостей релаксационной части $\varepsilon_{2\text{rel}}$ при различных влажностях и в виде влажностных зависимостей параметров $\varepsilon_s - \varepsilon_\infty$. Заметим, что подобные зависимости наблюдаются и при других температурах $t \leq -60^\circ\text{C}$.

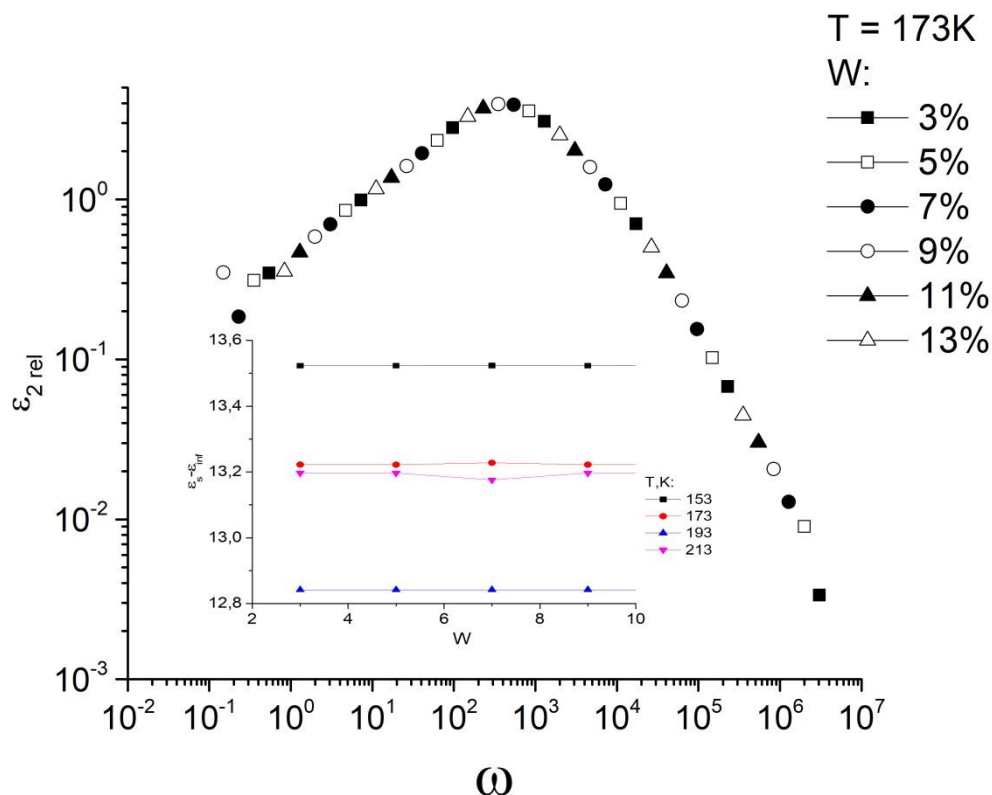


Рис. 1 Результаты экспериментального исследования частотной зависимости диэлектрических свойств ВДС при разных влажностях и температурах.

Из интегрального метода расчёта диэлектрической проницаемости смесей $\frac{d\varepsilon}{dv_2} = 3\varepsilon_1 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1}$ (где ε_1 – диэлектрическая проницаемость до изменения объёмной влажности dv_2 , а ε_2 – диэлектрическая проницаемость слоя) следует, что $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$. Перенос ε_1 на $W=3\%$ получаем, что т.к. $\frac{d\varepsilon}{dv_2} = 0$ все добавленные слои име-

ют $\varepsilon_l = 0$. Естественно предположить, что значение ε_l задаётся двойным электрическим слоем (ДЭС) на границе гранул кварца и льда.

ДЭС обладает повышенной концентрацией положительных носителей [1] и, следовательно, повышенной электрической проводимости. Последнее обуславливает малость напряжённости электрического поля внутри поровой полости и, следовательно, отсутствие (или малость) поляризации льда внутри этой полости. Используя методику обработки частотной дисперсии диэлектрической проницаемости предложенных в [2] для модели Гаврильяка-Негами были получены значения $\alpha = 0,31$ и $\beta = 0,82$, время релаксации $\tau = 5,88 \cdot 10^{-3}$ с и энергию активации прыжковой проводимости $\Delta E_t = 0,32$ эВ.

1. Копосов Г.Д. Проблемы физики влагосодержащих дисперсных систем в области отрицательных температур. – Архангельск: Поморский университет, 2004. – 125с
2. Перфильев Р.О., Копосов Г.Д., Волков А.С. Определение параметров модели Гаврильяка-Негами частотной зависимости диэлектрической проницаемости || Тезисы докладов IV Международной молодёжной научной конференции (Секция 1): Физика, Технологии, Инновации ФТИ – 2017 (15-19 мая 1017). – Екатеринбург: УрФУ, 2017 – с. 155-156.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА АНИОН-ДЕФЕКТНЫХ КЕРАМИК НА ОСНОВЕ Al_2O_3 -BeO

Авдюшин И. Г., Никифоров С.В., Киряков А.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России

Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: ioann.a@mail.ru

LUMINESCENCE PROPERTIES OF ANION-DEFECTIVE CERAMICS BASED ON Al_2O_3 -BeO

Avdiushin I.G., Nikiforov S.V., Kiryakov A.N.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The main goal was investigation of luminescence properties of ceramics based on Al_2O_3 -BeO, which content of phase's mixture: Al_2O_3 (44%), BeO (39%), Al_2BeO_4 (16%). The presence of luminescent centers in these ceramics was detected by PCL and TL spectroscopy. The main peak observed on TL curve at 250 °C has linear dose response in the range of 10-300 Gy.

Развитие современных радиационных технологий обуславливает необходимость в создании новых люминесцентных детекторов излучений, способных регистрировать дозы более 10 Гр. Перспективными материалами для таких де-

текторов могут быть керамики, полученные из нанопорошков, более стойкие к радиационному воздействию.

Целью работы являлось синтез, исследование люминесцентных свойств сложных керамик на основе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$.

Из наноструктурного порошка оксида алюминия с размером частиц 75 нм формировались компакты путём холодного одноосного прессования при удельном давлении 1000 кгс/см^2 . Для получения керамик $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$ и создания в них кислородных вакансий, формирующих центры свечения, производилась термообработка компактов в вакуумной электропечи с экранной изоляцией СНВЭ-9/18 в присутствии углерода при $T=1500^\circ\text{C}$ в течение 4 часов в тиглях из оксида бериллия. Термолюминесценция (ТЛ) возбуждалась источником гамма-излучения на основе изотопа ^{60}Co и регистрировалась с помощью ФЭУ-142. Для возбуждения импульсной катодолуминесценции (ИКЛ) образцы облучались при комнатной температуре электронным пучком ускорителя с длительностью импульса 2 нс и средней энергией электронов $130\pm 1 \text{ кэВ}$ при плотности тока 60 А/см^2 .

Методом рентгено-фазового анализа было установлено, что наличие углерода способствует внедрению оксида бериллия в структуру синтезированной керамики с образованием смеси фаз Al_2O_3 (44%), BeO (39%), Al_2BeO_4 (16%). На рисунке 1 приведена кривая ТЛ синтезированных керамик. Видно, что, доминирующий ТЛ пик наблюдается при 250°C .

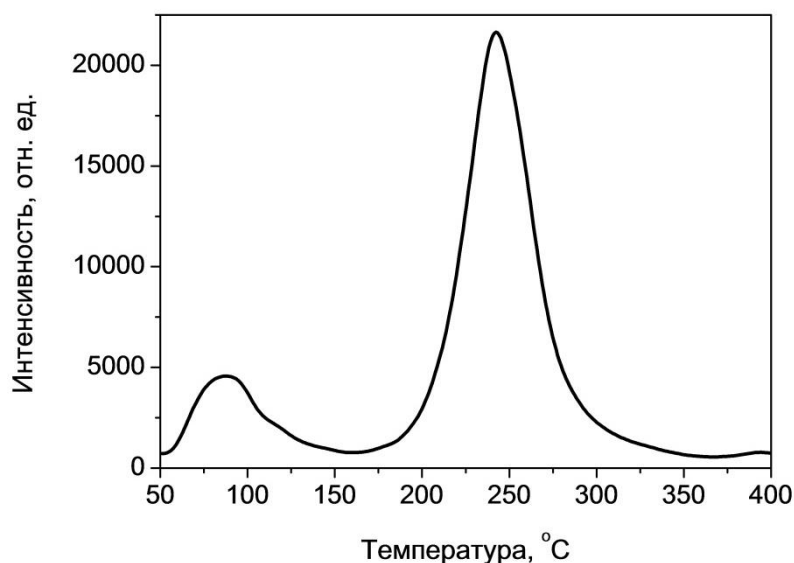


Рисунок 1 – Кривая ТЛ анион-дефектной керамики на основе $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-BeO}$

Методами ИКЛ и ТЛ-спектроскопии было подтверждено наличие в синтезированных керамиках центров свечения, связанных с кислородными вакансиями в решетке Al_2O_3 и BeO . Кроме того, было обнаружено, что спектре ИКЛ полученных образцов исчезает полоса при 693 нм, обусловленная свечением ионов Cr^{3+} , что может свидетельствовать об образовании комплексных дефектов на

основе ионов хрома в исследуемых образцах. Дозовая зависимость интенсивности ТЛ в пике при 250 °С при облучении гамма-источником линейна в диапазоне 10-300 Гр, что свидетельствует о перспективах применения полученных керамик в качестве высокодозных детекторов гамма-излучения.

ОСОБЕННОСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВОЛЬФРАМА

Беликов А.С.^{1*}, Марченков В.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: asbelikov1@gmail.com

FEATURES OF THE LOW-TEMPERATURE MAGNETIC RESISTANCE OF TUNGSTEN SINGLE CRYSTALS

Belikov A.S.^{1*}, Marchenkov V.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics of the UB RAS, Yekaterinburg, Russia

Static skin effect, i.e a concentration of dc-current near sample surface, occurs due to strong electron-surface scattering in pure tungsten single crystals at high magnetic fields. At these conditions, the magnetoresistivity is very sensitive the magnitude and direction of external magnetic field. In particular, a form of angular dependence of resistivity is mainly determined by a conductor shape at 4.2K. The observed effects can be used for development of cryogenic sensors of magnitude and angular displacements of magnetic field.

В чистых монокристаллах компенсированных металлов с замкнутой поверхностью Ферми в области сильных магнитных полей в результате сильного электрон-поверхностного рассеяния возникает статический скин-эффект – преимущественное протекание постоянного электрического тока вблизи поверхности проводника. При этом должна сохраняться высокая чувствительность сопротивления к величине и направлению внешнего магнитного поля, а также зависимость магнитосопротивления от размеров и формы образца. Все это будет проявляться в угловых и полевых зависимостях магнитосопротивления и может найти свое практическое применение при изготовлении высокочувствительных датчиков величины магнитного поля и угловых перемещений. Поскольку чистые монокристаллы вольфрама удовлетворяют указанным выше требованиям, то они и были выбраны в качестве объекта исследований. Цель работы – изучение особенностей полевых и угловых зависимостей низкотемпературного магнитосопротивления монокристаллов вольфрама.

Было исследовано магнитосопротивление чистых монокристаллов вольфрама с отношением сопротивлений $\rho_{300\text{K}}/\rho_{4.2\text{K}}$ около 100000 при $T=4,2\text{ K}$ в полях до 80 кЭ. В угловых зависимостях магнитосопротивления наблюдается эффект формы образца, т.е. вид угловых зависимостей определяется формой проводника. Измерения в более слабых полях до 15 кЭ дают результаты, согласующиеся с таковыми при 80 кЭ. Показано, что эффект формы образца при температуре 4,2 К имеет место во всем исследованном интервале полей от 10 до 80 кЭ. При этом наблюдается сильная зависимость величины сопротивления не столько от площади поперечного сечения образца, сколько от площади его боковых поверхностей.

Таким образом, изучены особенности полевых и угловых зависимостей магнитосопротивления особо чистых монокристаллов вольфрама, заключающиеся в сильной зависимости сопротивления от величины и направления магнитного поля, размеров и формы проводника и продемонстрировано, что обнаруженные эффекты могут быть использованы при разработке криогенных датчиков магнитного поля по его величине и угловым перемещениям.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Спин», № 01201463330) при частичной поддержке Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.A03.21.0006) и гранта № 14.Z50.31.0025 Министерства образования и науки РФ.

НАНОПЕРФОРИРОВАННЫЕ ФЕРРИМАГНИТНЫЕ ПЛЕНКИ TbCo С ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

Гринина З.В.*, Кулеш Н.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: zlatagrinina@ya.ru

ANTIDOT PATTERNED FERRIMAGNETIC Tb-Co THIN FILMS WITH PERPENDICULAR MAGNETIC ANISOTROPY

Grinina Z.V.*, Kulesh N.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Patterned films were synthesized by depositing Tb-Co layer onto the different types of anodic alumina substrates: porous as-prepared, porous polished, and backside covered with nanohills. The analysis of combined vibrating sample magnetometry, Kerr microscopy and magnetic force microscopy imaging measurements has allowed us to link macroscopic and local magnetization reversal processes.

Самоорганизованные пористые структуры из анодированного алюминия имеют широкое применение в качестве сред-шаблонов для изготовления нанопроводов, нанотрубок и структурированных магнитных плёнок. К их основным геометрическим характеристикам относятся: диаметр, высота пор и расстояние между ними. Также для тонкопленочных приложений важна топография их поверхности и шероховатость. В настоящей работе проведено поисковое исследование, нацеленное на модификацию магнитных свойств тонких пленок Tb-Co посредством использования перфорированных подложек анодированного алюминия путем варьирования характеристик последних.

Структурирующие пористые подложки были подготовлены путем двойного анодирования [1] фольги высокочистого (99,995 %) алюминия толщиной 0,5 мм. Для этого была использована электрохимическая ячейка с 0,3 М раствором щавелевой кислоты и платиновым катодом. Для дальнейшего сравнительного анализа одна из подложек подвергалась механической полировке. Изначальный диаметр полученных пор составлял 35 нм и был увеличен до 75 нм путем травления в фосфорной кислоте. Расстояние между порами составляло 105 нм.

Аморфные пленки Ta(5нм)/Tb₂₉Co₇₁(30нм)/Ta(5нм) были получены методом магнетронного распыления на установке АТС Orion 8 UHV. Напыление сплошных (стеклянная подложка) и наноперфорированных (пористые подложки: неполированная, полированная, обратная сторона) пленок производилось в едином цикле. Технологическое магнитное поле 25 мТл было направлено вдоль плоскости подложек. Для аттестации магнитных свойств использовались вибрационный магнитометр и магнитооптический Керр-микроскоп.

В результате было показано наличие сильной перпендикулярной анизотропии как для сплошных, так и для наноперфорированных пленок Tb-Co. Проанализированы процессы перемагничивания и изображения доменной структуры для плёнок на разных подложках. Определено влияние параметров подложки на магнитные характеристики структурированных плёнок Tb-Co, что позволяет оптимизировать процесс синтеза тонкопленочных структур данным методом.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых № МК-1891.2018.2.

1. Masuda H. and Fukuda K. Science 268, 1466 (1995).

СТРУКТУРА МАГНИЯ ПОСЛЕ ОСАДКИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Чуланова В.Н.^{1*}, Комкова Д.А.², Антонова О.В.², Волков А.Ю.²

¹⁾ Уральский федеральный университет им. первого президента России
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

²⁾ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург

E-mail: lapi400@mail.ru

ANALYSIS OF MAGNESIUM DEFECTIVENESS AFTER DEFORMATION AT THE ROOM TEMPERATURE

Chulanova V.N.^{1*}, Komkova D.A.², Antonova O.V.², Volkov A.Yu.²

¹⁾ Ural Federal University named after the first president of Russia
B.N. Yeltsin, Yekaterinburg

²⁾ Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
named after M.N. Mikheev, Yekaterinburg

We conducted experiments on precipitation of pure magnesium samples in a copper cage at different degrees of deformation in order to reveal the mechanisms responsible for grain refinement during deformation. With a deformation of 15%, the initial structure is milled and microcracks are formed, but with deformation of 50% no cracks are detected, from which it can be assumed that fractures are healed.

Интерес к магнию и его сплавам неуклонно растёт благодаря их уникальным свойствам. Однако на сегодняшний день применение магния и его сплавов ограничено из-за низкой пластичности при комнатной температуре. Ранее в работе [1] методом поперечного выдавливания чистого магния при комнатной температуре были получены 1-мм ленты с мелкозернистой структурой и высокими механическими свойствами.

Целью данной работы является выявление механизмов, ответственных за измельчение зерна в процессе деформации. Эксперименты проводились на образцах чистого магния методом осадки в медной обойме на разные степени деформации.

Для выяснения процессов, протекающих в ходе деформации в условиях всестороннего сжатия, исследовалась структура исходного литого магния и образцов, деформированных на 15% и 50%.

Исследование структуры проводилось с привлечением методов рентгеноструктурного анализа, оптической микроскопии, просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии.

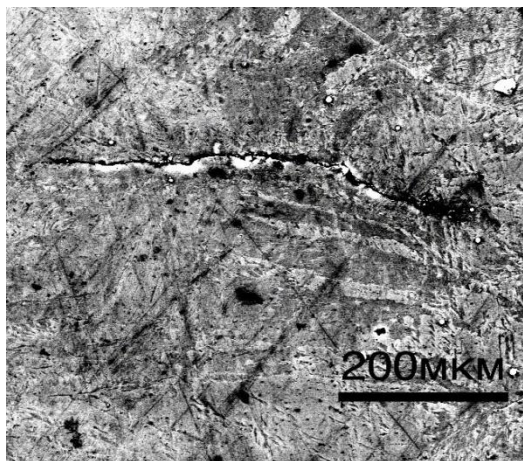


Рис.1. Трещина в образце после осадки на 15%

В исходном состоянии в магнии наблюдается высокая плотность двойников в некоторых зернах. Зёрна имеют размеры от 3 до 7 мм.

При деформации осадкой на 15 % происходит измельчение исходной структуры (размер полученного зерна около 100 мкм), обнаружены следы интенсивного двойникования. Наблюдаются микротрещины, которые формируются у границ двойников внутри исходных зёрен (рис. 1).

После деформации на 50% структура содержит новые рекристаллизованные

новые зёрна и субструктуру, которая состоит из отдельных кристаллитов и ячейстой структуры. Стоит отметить, что в образце, деформированном на 50%, не было обнаружено трещин.

Полученные результаты позволяют предположить, что уже на начальных этапах деформации происходит интенсивное двойникование образца, и этот механизм вносит большой вклад в измельчение исходного зерна наряду с процессами рекристаллизации в условиях всестороннего сжатия магния при комнатной температуре.

Интересным результатом работы является образование трещин при осадке на 15% и их отсутствие после 50%, что свидетельствует о протекании процессов залечивания при дальнейшей деформации [2]. Однако обнаруженные трещины указывает на необходимость внесения изменений в использованную нами схему деформации в медной обойме, так как по всей видимости на начальных этапах не реализуются условия всестороннего сжатия.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Давление»), при финансовой поддержке проекта УрО РАН №18-10-2-24 и проекта РФФИ №18-33-00474.

1. O.V. Antonova. MSEA 651, 8 (2016).
2. Б.И. Береснев. Процесс гидроэкструзии. – М.: Наука (1976).

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАТОНКОЙ ПРОСЛОЙКИ НА ПАРАМЕТРЫ
МЕЖСЛОЙНОЙ ОБМЕННОЙ СВЯЗИ В ПЛЕНКАХ
 $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}/\text{X}/\text{Tb} - \text{Co}$ ($\text{X} = \text{Ti}, \text{Ni}, \text{Tb}$)**

Аданакова О.А.^{*}, Балымов К.Г., Кудюков Е.В., Кулеш Н.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: olga.adanakova@urfu.ru

**INFLUENCE OF ULTRATHIN SPACER ON INTERLAYER EXCHANGE
COUPLING IN $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}/\text{X}/\text{Tb} - \text{Co}$ ($\text{X} = \text{Ti}, \text{Ni}, \text{Tb}$) FILMS**

Adanakova O.A.^{*}, Balymov K.G., Kudyukov E.V., Kulesh N.A.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Annotation. Hysteresis properties of $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}/\text{X}/\text{Tb} - \text{Co}$ ($\text{X} = \text{Ti}, \text{Ni}, \text{Tb}$) multilayers at the temperature range of 80÷470 K were studied. It was shown that the exchange bias field value decreases monotonically with X spacer thickness and temperature increase, while the critical thickness of the exchange bias disappearance and the blocking temperature for different types of spacers are not similar. These features are associated with changes in the structural interface at high temperatures, as well as the influence of the spacer type and its thickness on the efficiency of the interlayer exchange coupling.

Многослойные пленочные структуры на основе обменно-связанных антиферромагнитного (или ферримагнитного) и ферромагнитного слоев характеризуются так называемой однонаправленной анизотропией (обменным смещением), в связи с чем представляют определенный исследовательский интерес, связанный с возможностью практического применения подобного рода сред в магнитно-сенсорной технике [1]. Настоящая работа посвящена изучению влияния ультратонкой металлической прослойки X (Ti, Ni и Tb) на обменную связь в пленках $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}/\text{X}/\text{Tb} - \text{Co}$ /Ti, где ферримагнитный Tb-Co играет роль закрепляющего слоя, а Ti выполняет функцию защиты от окисления.

Исследуемые пленочные образцы были получены на стеклянных подложках методом высокочастотного ионного распыления однородных ($\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$, Ti, Tb, Ni) и мозаичной (Tb-Co) мишеней в присутствии внешнего магнитного поля. Характерные толщины слоев $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$, Tb-Co и Ti составляли 50, 110 и 15 нм соответственно. Толщина прослойки Ti, Ni и Tb изменялась в пределах 0,3÷3 нм. Химический состав образцов определялся методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре Nanohunter. Содержание Tb в соответствующих слоях находилось в пределах 27–30 ат. %. Измерения полевых зависимостей намагниченности (петель гистерезиса) в диапазоне температур 80÷470 К выполнялись на вибрационном магнитометре LakeShore VSM 7407.

На основе полученных для разных температур зависимостей $M(H)$ проанализированы зависимости поля обменного смещения H_e ферромагнитного слоя $\text{Fe}_{10}\text{Ni}_{90}$ от температуры, типа и толщины прослойки. Установлено, что величина H_e монотонно уменьшается с увеличением толщины прослойки. Аналогичная тенденция в поведении H_e наблюдается с ростом температуры. Кроме того критическая толщина прослойки, соответствующая исчезновению обменного смещения, и значение температуры блокировки различны для образцов с прослойками разного типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 16-32-00377 мол_а.

1. К.Г. Балымов, В.О. Васьковский и др., Физика металлов и металловедение 110, 550 (2010).

SYNTHESIS AND IONIC CONDUCTIVITY OF RE-DOPED BARIUM CERATE

Lupitskaya Yu.A.

Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

E-mail: lupitskaya@gmail.com

Solid solutions of $\text{BaCe}_{1-x}\text{Re}_x\text{O}_{3-\delta}$ with a perovskite-like structure are perspective materials for creating proton-conducting membranes in solid-state fuel cells and water-vapor electrolysis cells on their basis, since they possess ion-conducting and ion-exchange properties [1]. Through the defects in the anion sublattice (oxygen vacancies [2]), which formation in the cationic sublattice of the structure, ion and proton conductivity arise in the substitution of Ce^{4+} на Re^{3+} (Y , Sm , Pr , Gd) in the cation sublattice of the structure.

The features of the formation of $\text{BaCe}_{0.9}\text{Re}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ (Re^{3+} - Y , Sm , Pr , Gd), solid solutions with a perovskite-type structure have been investigated in this work, and the effect of dopants on the ionic conductivity of barium cerate compounds has been studied.

The samples were obtained by standard solid-phase technology from the oxides BaCO_3 , CeO_2 , Re_2O_3 with a gradual increase the temperature of the synthesis in the interval 673-1373 K and repeated grinding. The chemical and phase composition of the reaction products was monitored by the methods of derivatography and X-ray analysis.

In the range of temperature 300-973 K, the dependence of the conductivity of the synthesized phases on the inverse temperature was studied on alternating current. It is

shown that the value of the activation energy decreases, and the ionic conductivity increases with the ionic radius of the impurity ion. The maximum values of ionic conductivity are reached in the phase of composition $BaCe_{0,9}Re_{0,1}O_{3-\delta}$.

For ceramic samples of various compositions over a wide temperature range 300-1373 K, phase transitions associated with changes in the symmetry of the crystal lattice and the temperatures of the singular points are determined. It is to be expected that the electrical conductivity of the solid solutions under investigation at the established special points will increase by several orders of magnitude.

1. Medvedev D., Murashkina A. et al., Progress in Materials Science., 60, 72 (2013).
2. Amsif M., Marrero-Lopez D. et al., Journal of Power Sources., 196, 3461 (2011).

МОРФОЛОГИЯ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ В НЕКОТОРЫХ ОБЫКНОВЕННЫХ ХОНДРИТАХ

Гонцова С.С.^{1*}, Даниленко И.А.², Яковлев Г.А.², Петрова Е.В.²,
Максимова Е.М.¹, Наухацкий И.А.¹

¹⁾ Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского,
г. Симферополь, Россия

²⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: sgoncova@gmail.com

MORPHOLOGY OF SULFIDE MINERALS IN SOME ORDINARY CHONDRITES

Hontsova S.S.^{1*}, Danilenko I.A.², Yakovlev G.A.², Petrova E.V.²,
Maksimova E.M.¹, Nauhatsky I.A.¹

¹⁾ Crimean Federal University, Simferopol, Russia

²⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Annotation. We studied the morphology and texture of sulfide inclusions of the Chelyabinsk LL5, Northwest Africa 869 L3-6 and Gao-Guenie H5 meteorites by X-ray diffraction, optical and electron microscopy. The difference in the morphology of sulfides in fragments of meteorites is due to differences in the conditions of their formation.

В обыкновенных хондритах сульфидные минералы являются примесной фазой. Самые распространенные из них – это троилит (FeS), пирротин (Fe_{1-x}S), пентландит ((Fe,Ni)₉S₈) и пирит FeS₂ [1]. Целью данной работы являлось изучение морфологии и минерального состава сульфидных включений в обыкновенных хондритах разных химических групп: Челябинск светлой литологии (LL5), NWA 869 (L4-6) и Gao-Guenie (H5).

Поверхность аншлифов метеоритов исследовали на оптическом микроскопе ZEISS Axiovert 40 MAT и растровом электронном микроскопе FE-SEM ZEISS SIGMA VP с системой микрорентгеноспектрального анализа INCA Energy. Фазовый состав исследуемых образцов определен с помощью рентгеновского дифрактометра общего назначения ДРОН-3 методом порошков.

Включения троилита обнаружены во всех исследуемых образцах в виде отдельных образований, а также в ассоциации с Fe-Ni-сплавом и хромитом (рис.1). В краевой части некоторых зерен троилита обнаружен железистый пентландит. Также пентландит найден в металлических включениях на границе Fe-Ni-металл-троилит-медь. Формирование пентландита происходит при температуре ниже 610° С при охлаждении первичного Fe-Ni-S расплава [2]. В образце NWA 869 обнаружены металл-троилитовые эвтектики. Структуры такого рода образовались при диффузии в процессе охлаждения Fe-Ni-S расплава при температуре ниже 900°С [3].

Обнаруженные в процессе исследования отличия в морфологии и химическом составе сульфидов некоторых обыкновенных хондритов, могут быть следствием разных условий их формирования.

Работа выполнена при поддержке Программы развития ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» на 2015-2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» «Сеть академической мобильности «Академическая мобильность молодых ученых России – АММУР» в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», а также Министерства образования и науки Российской Федерации (Проекты 5.4825.2017 / 6.7 и 5.3451.2017 / 4.6) и Правительства Российской Федерации, Акт 211, Соглашение № 02.A03.21.0006.

1. Rubin A.E. Meteorit. & Planet. Sci., 32, 231-247 (1997).
2. Schrader D.L., Davidson J. et al. Geochim. et Cosmochim. Acta., 189, 359-376 (2016).
3. Xie X., Chen M. et al. Meteorit. Planet. Sci., 49, 2290–2304 (2014).

ЭВОЛЮЦИЯ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ РЕЛАКСОРНОЙ КЕРАМИКИ ЦИРКОНАТА - ТИТАНАТА СВИНЦА, ЛЕГИРОВАННОЙ ЛАНТАНОМ СОСТАВА 8/65/35 ПОСЛЕ СЕЛЕКТИВНОГО ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ И ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ

Мерзлякова А. С.^{1*}, Чезганов Д. С.¹, Гимадеева Л. В.¹, Власов Е.О.¹,
Шур В. Я.¹, Холкин А. Л.^{1,2}

¹⁾ Институт естественных наук и математики, Уральский федеральный университет,
Екатеринбург, Россия

²⁾ Центр исследований в керамике и композиционных материалах,
Университет Авейру, Авейру, Португалия

*E-mail: mrs.merzliakova@gmail.com

DOMAIN STRUCTURE EVOLUTION IN RELAXOR PLZT 8/65/35 CERAMICS AFTER CHEMICAL ETCHING AND ELECTRON BEAM IRRADIATION

Merzliakova A.S.^{1*}, D.S. Chezganov¹, L.V. Gimadeeva¹, E.O. Vlasov¹,
V.Ya. Shur¹, A.L. Kholkin^{1,2}

¹⁾ School of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University,
Ekaterinburg, Russia

²⁾ Department of Physics & CICECO-Aveiro Institute of Materials,
University of Aveiro, Aveiro, Portugal

Annotation. Domains evolution on the surface of PLZT 8/65/35 ceramics after selective chemical etching and e-beam irradiation was studied. It is shown that the initial domains turned into lamellar domains as a result of such procedures. The observed etch-induced change of the domain structure was attributed to the action of the depolarization field after partial removing the screening charges. The dependence of the switched domain area on irradiation time (dose) was measured in e-beam irradiated samples.

Исследовались пластины прозрачной крупнозернистой керамики цирконата – титаната свинца, легированной лантаном $\text{Pb}_{0,92}\text{La}_{0,08}(\text{Zr}_{0,65}\text{Ti}_{0,35})_{0,98}\text{O}_3$ (PLZT 8/65/35), синтезированной методом горячего прессования в Институте Джозефа Стефана (Любляна, Словения). Образцы были отполированы до оптического качества и подвергались термической деполяризации без приложения электрического поля.

Для изменения доменной структуры (ДС) использовались два типа воздействия: селективное химическое травление смесью кислот, проводимое в несколько этапов [1] и сканирование электронным лучом. Созданная ДС была визуализирована различными методами высокого разрешения: (1) сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) и атомно-силовой микроскопией (АСМ) после селективного химического травления и (2) силовой микроскопией пьезоэлектрического отклика (СМПО) без травления после облучения электронами.

Для термически деполяризованных образцов характерны наноразмерные квазирегулярные лабиринтоподобные ДС. Появление после полировки микронных ДС в некоторых зернах можно объяснить удалением поверхностного слоя экранирующих зарядов в процессе полировки и обратным переключением под действием остаточного деполяризующего поля [2].

В результате химического травления наблюдалось почти полное изменение исходной ДС на ламеллярную, вызванное остаточным деполяризующим полем, увеличивающимся в результате частичного удаления экранирующих зарядов во время травления [2]. Выявлены ламеллярные домены с различной ориентацией в пределах одного зерна.

Анализ СМПО-изображений позволил характеризовать эволюцию доменных структур в результате облучения электронным пучком с различными дозами, которое приводило к возникновению ламеллярных доменов в некоторых зернах и увеличению общей площади доменов (частичному переключению поляризации).

Работа выполнена с использованием оборудования Уральского центра коллективного пользования УЦКП «Современные нанотехнологии» ИЕНиМ УрФУ при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ (грант 16-02-00821-а).

1. Mancha S., Ferroelectrics, 135, 131-137 (1992).
2. Shur V. Ya. et al., Appl Phys Lett., 87, 022905 (2005).

PYED + VCA: ТОЧНАЯ ДИАГНОАЛИЗАЦИЯ КОНЕЧНЫХ КВАНТОВЫХ СИСТЕМ И ВАРИАЦИОННОЕ КЛАСТЕРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

Лукьянов А.Е.^{*}, Неверов В.Д., Жумагулов Я.В., Красавин А.В.

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
г. Москва, Россия

*E-mail: lukyanov9567@gmail.com

PYED + VCA: EXACT DIAGONALIZATION OF FINITE QUANTUM SYSTEMS WITH VARIATIONAL CLUSTER APPROXIMATION

Lukyanov A.E.^{*}, Neverov V.D., Zhumagulov Ya.V., Krasavin A.V.

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

The method of exact diagonalization is one of the main methods in studying the properties of strongly correlated systems. Together with the variational cluster approximation [1], this method makes it possible to study a fairly wide range of different systems. In this paper we present an open source implementation [2] of exact diagonalization and variational cluster approximation.

Вариационное кластерное приближение [1] позволяет исследовать довольно широкий диапазон различных сильнокоррелированных электронных систем. В данной работе представлена реализация с открытым исходным кодом [2] вариационного кластерного приближения совместно с методом точной диагонализации для исследования решеточных моделей типа Хаббарда. Метод работает следующим образом:

- 1) для конечного изолированного кластера, моделирующего часть решеточного базиса системы, составляется матрица гамильтониана в фоковском базисе, и производится диагонализация для определения основного состояния;
- 2) далее рассчитывается одночастичная функции Грина кластера в лемановском представлении с помощью блочного алгоритма Ланцоша;
- 3) из полученной функции Грина кластера и матрицы одночастичных возмущений, составленной из межкластерной части гамильтониана, составляется функция Грина всей решетки в соответствии с сильнокоррелированной теорией возмущений [1];
- 4) для коррекции нарушения трансляционной симметрии применяется периодизация полученной функции Грина всей решетки;
- 5) далее для расчета большого термодинамического потенциала всей решетки используется функционал Поттхофа, который учитывает большой термодинамический потенциал отдельного кластера, функцию Грина отдельного кластера и матрицу межкластерной части гамильтониана;
- 6) для получения фазовой диаграммы системы производится поиск стационарных точек большого термодинамического потенциала всей решетки в зависимости от параметров порядка системы с помощью метода Нелдера – Мида [3], которые соответствуют определенному фазовому состоянию системы.

На рис. 1 показан пример определения фазового состояния системы для двумерной модели Хаббарда.

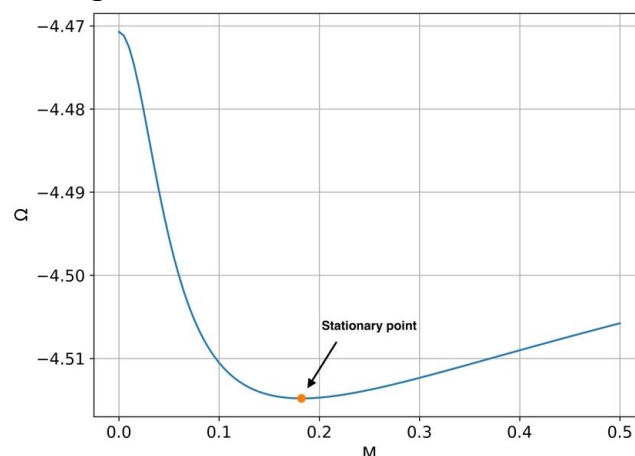


Рис. 1. Зависимость большого термодинамического потенциала от параметра антиферромагнитного упорядочения для двумерной модели Хаббарда при половинном заполнении и параметре взаимодействия $U/t=8$. Красной точкой обозначена стационарная точка функционала Поттхофа, соответствующая наличию антиферромагнитного упорядочения системы.

1. Potthoff M., Aichhorn M., Dahnken C., Phys. Rev. Lett., 91, 206402 (2003).
2. <https://github.com/yaros72/pyed>
3. Nelder J.A., Mead R., Computer Journal, 7, 308-313 (1965).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ПЛЁНОК Ta/Ni_xMn_{100-x}/Ta, ПОЛУЧЕННЫХ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Москалев М.Е.^{1*}, Лепаловский В.Н.¹, Наумова Л.И.^{1,2}, Юшков А.А.¹, Колосов В.Ю.¹, Васьковский В.О.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: mikhail.moskalev@urfu.ru

STRUCTURAL INVESTIGATION OF MAGNETRON SPUTTERED Ta/Ni_xMn_{100-x}/Ta FILMS

Moskalev M.E.^{1*}, Lepalovskij V.N.¹, Naumova L.I.^{1,2}, Yushkov A.A.¹, Kolosov V.Y.¹,
Vas'kovskiy V.O.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metal Physics UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The structural properties of both as-deposited and annealed magnetron sputtered Ta/Ni_xMn_{100-x}/Ta films were studied by means of X-ray diffraction and transmission electron microscopy. By changing the NiMn composition and annealing parameters, such as temperature and duration, it is possible to obtain different structural states and phases of NiMn. The effect of the underlying Ta layer on the growth of NiMn was also investigated.

Сплавы NiMn различного состава способны проявлять антиферромагнитное упорядочение, что непосредственно связано с их структурным состоянием. Например, фаза θ -NiMn со структурой $L1_0$ обладает температурой Нееля $T_N=1070\text{K}$ и высокой магнитокристаллической анизотропией. Эти свойства NiMn определяют перспективы его использования в спиновых клапанах в качестве закрепляющего слоя [1], а также в устройствах спинтроники в качестве самостоятельной среды [2]. Стоит отметить, что все вышеперечисленные применения ориентированы на тонкоплёночный формат функциональных сред. Индустриальным стандартом получения данных сред является магнетронное распыление. Однако в силу специфики механизмов осаждения и роста плёнок для реализации в них фазы θ -NiMn требуется отжиг. В работе представлено исследование закономерностей формирования структурного состояния плёнок

Ta/Ni_xMn_{100-x}/Ta, полученных магнетронным распылением и прошедших термообработку.

Тонкие плёнки Ta(5нм)/Ni_xMn_{100-x}(L)/Ta(5нм), где L=50 нм или 100 нм, x=0÷100 ат.%, получены на установке магнетронного распыления Orion-8. Контроль состава осуществлялся методом рентгеновской флуоресцентной спектроскопии на установке NanoHunter. Для исследования структурных свойств был использован рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М и просвечивающий электронный микроскоп JEM-2100.

Установлено, что в исходном состоянии плёнки во всей области составов рентгеноаморфны. С помощью просвечивающей электронной микроскопии в неотожжённых пленках была выявлена нанокристаллическая структура (Рис. 1). Однако анализ фазового состава в столь высокодисперсном состоянии затруднён. В работе прослеживается структурно-фазовая трансформация плёнок в результате отжига при вариациях его температуры и длительности.

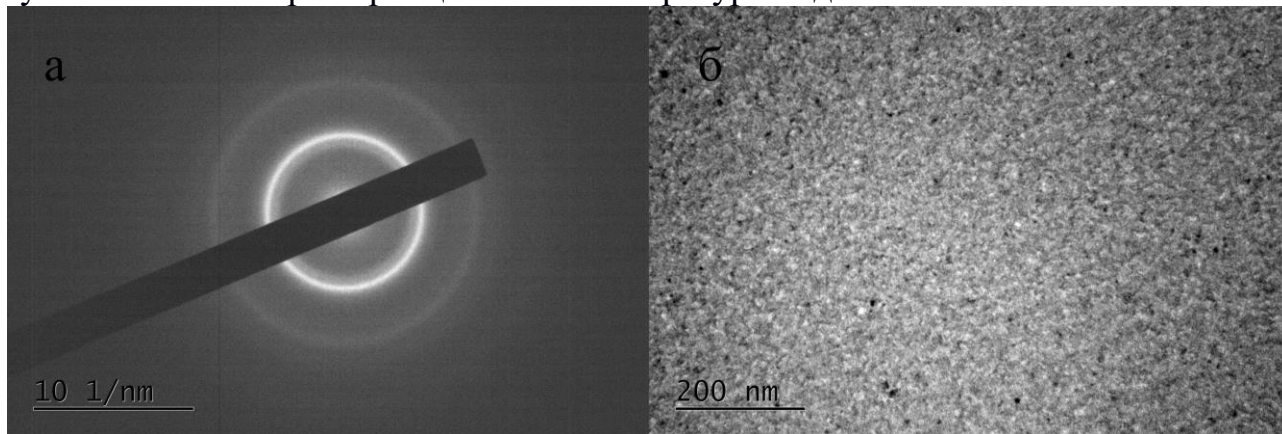


Рис. 1. Дифракционная картина (а) и фотография микроструктуры (б) неотожжённой пленки Ta/Ni₃₅Mn₆₅/Ta, полученные методом просвечивающей электронной микроскопии.

1. Wienecke A., Kruppe R. and Rissing L., J. Appl. Phys., 117, 17C108 (2015).
2. Wang Y.Y. et. al., Prog. Nat. Sci. Mater. Int., 27, 208 (2017).

ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ И ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК Bi_2Se_3

Доможирова А.Н.^{1*}, Чистяков В.В.², Huang J.C.A.³, Марченков В.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия

³⁾ Национальный университет Чэн Кунг, Тайнань, Тайвань

*E-mail: a.n.domozhirova@mail.ru

ELECTRICAL RESISTIVITY AND GALVANOMAGNETIC PROPERTIES OF Bi_2Se_3 THIN FILMS

Domozhirova A.N.^{1*}, Chistyakov V.V.², Huang J.C.A.³, Marchenkov V.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, UB RAS, Yekaterinburg, Russia

³⁾ National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

Annotation. The electrical resistivity and galvanomagnetic properties for the thin films of topological insulator Bi_2Se_3 with thicknesses from 10 to 75 nm were measured in the temperature range from 4.2 to 300 K and in magnetic fields up to 10 T.

Недавно были теоретически и экспериментально открыты новые квантовые материалы – топологические изоляторы (ТИ), которые обладают топологически нетривиальной зонной структурой, возникающей вследствие сильного спин-орбитального взаимодействия. Для этих соединений характерно наличие энергетической щели в объеме материала и защищенных бесщелевых поверхностных состояний. Спин-поляризованный ток протекает вдоль поверхности таких материалов практически без потерь, что делает перспективным применение ТИ в устройствах спинтроники и сверхбыстрой электроники [1, 2].

Цель данной работы – синтез и исследование электрических и гальваномагнитных свойств тонких пленок ТИ Bi_2Se_3 различной толщины.

Тонкие пленки ТИ Bi_2Se_3 толщиной от 10 до 75 нм были выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках из Al_2O_3 . Электрические и гальваномагнитные свойства измерены общепринятым 4-контактным способом на постоянном токе в интервале температур от 4.2 до 300 К и в магнитных полях до 10 Тл.

Измеренные температурные зависимости электросопротивления тонких пленок Bi_2Se_3 имеют металлический тип, т.е. электросопротивление увеличивается с ростом температуры. Исследование эффекта Холла показало, что коэффициент Холла отрицательный, т.е. преобладает электронный тип проводимости. Также оценены концентрация n носителей тока и их подвижность μ . Для

пленки Bi_2Se_3 толщиной 75 нм при температуре 4.2 К концентрация n носителей тока составляет $\sim 5.35 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, подвижность $\mu \approx 8.7 \cdot 10^2 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Спин», № 01201463330) при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-52-52008), Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.A03.21.0006) и гранта № 14.Z50.31.0025 Министерства образования и науки РФ.

1. Hasan M.Z., Kane C.L., Rev. Mod. Phys., 82, 3045 (2010).
2. Zhang H., Liu C.X., Qi X.L., Dai X., Fang Z., Zhang S.C., Nat. Phys., 5, 438 (2009).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛА $PtSn_4$

Доможирова А.Н.^{1*}, Махнев А.А.², Чистяков В.В.², Патраков Е.И.²,
Huang J.C.A.³, Марченков В.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия

³⁾ Национальный университет Чэн Кунг, Тайнань, Тайвань

*E-mail: a.n.domozhirova@mail.ru

ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF $PtSn_4$ SINGLE CRYSTAL

Domozhirova A.N.^{1*}, Makhnev A.A.², Chistyakov V.V.², Patrakov E.I.²,
Huang J.C.A.³, Marchenkov V.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ M.N. Mikheev Institute of Metal Physics, UB RAS, Yekaterinburg, Russia

³⁾ National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

Annotation. The electrical, galvanomagnetic, and optical properties of topological Weyl semimetal (TWSM) $PtSn_4$ single crystal were measured in the temperature range from 4.2 to 300 K and in magnetic fields of up to 10 T. Anomalies of the electron transport and the optical properties can be explained by light current carriers of high mobility and apparently are a manifestation of the TWSM nature.

Недавно были экспериментально открыты новые квантовые материалы – топологические вейлевские полуметаллы (ТВПМ). Для этих материалов характерен необычный перенос заряда на поверхности и в объеме. Квазичастицами в ТВПМ являются «безмассовые» вейлевские фермионы, киральные частицы с «нулевой» эффективной массой, которые защищены топологически. В объеме ТВПМ законы дисперсии этих частиц линейны во всех трех направлениях им-

пульса и пересекаются в так называемых вейлевских точках. Тогда как поверхностные состояния образуют ферми-дуги, соединяющие вейлевские точки противоположной киральности [1, 2]. Необычная электронная структура ТВПМ приводит к появлению уникальных электронных транспортных свойств, что делает ТВПМ перспективными для применения в сверхбыстрой электронике.

Цель работы – синтез, исследование электрических, гальваномагнитных и оптических свойств монокристалла ТВПМ $PtSn_4$.

Монокристалл $PtSn_4$ был выращен методом кристаллизации из раствора в расплаве и имел отношение величин электросопротивлений $\rho_{293K}/\rho_{4.2K} \approx 100$. Электрические и гальваномагнитные свойства измерены общепринятым 4-контактным способом на постоянном токе в интервале температур от 4.2 до 300 К и в магнитных полях до 10 Тл. Оптические параметры измерены эллипсометрическим методом Битти при 300 К.

Аномалии электронного транспорта и оптических свойств $PtSn_4$ могут быть объяснены «легкими» носителями заряда высокой подвижности и, по-видимому, являются проявлением природы ТВПМ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема «Спин», № 01201463330) при частичной поддержке РФФИ (проект № 17-52-52008), Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.A03.21.0006) и гранта № 14.Z50.31.0025 Министерства образования и науки РФ.

1. Xu S.Y., Belopolski I. et al., Science, 349, 613 (2015).
2. Liu Z.K., Yang L.X. et al., Nature Materials, 15, 27 (2016).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ БОРАТА ЖЕЛЕЗА ВБЛИЗИ ТОЧКИ НЕЕЛЯ

Замковская А.И.^{*}, Максимова Е.М., Наухацкий И.А.

Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского, г. Симферополь, Россия

*E-mail: trabem.z@gmail.com

INVESTIGATION OF THE THERMAL EXPANSION OF IRON BORATE NEAR THE NEEL POINT

Zamkovskaya A.I., Maksimova E. M., Nauhatsky I.A.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

Annotation. The lattice parameters of FeBO_3 were investigated by x-ray diffraction in the temperature range 18–300°C. It is shown that the iron borate has the anomalous thermal expansion along its principal crystallographic axis «с» in the temperature region of the anti-ferromagnetic transition (the Neel point $T_N = 77^\circ\text{C}$).

Интерес к исследованию структуры и физических свойств бората железа FeBO_3 продиктован его уникальными свойствами [1]. Выбор оптимальных условий практического использования кристаллов бората железа требует знания особенностей его поведения при нагревании. Ранее нами были проведены исследования анизотропии теплового расширения FeBO_3 для температур 25, 400, 500 и 600 °C [2]. Однако, с уверенностью можно было говорить о коэффициентах его теплового расширения только для высокотемпературной области от 400 до 600 °C, поскольку борат железа – это антиферромагнетик со слабым ферромагнетизмом и низкой температурой Нееля $T_N = 77^\circ\text{C}$, [3].

Поэтому было интересно исследовать особенности теплового расширения бората железа FeBO_3 в области температурного фазового перехода вблизи точки Нееля.

Исследования расширения кристаллической решетки бората железа проходили методом порошковой высокотемпературной рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Shimadzu XRD-7000 Maxima, Cu K α . Шаг съемки 0.02° , диапазон углов рассеяния $2\theta = 22-85^\circ$. Скорость нагрева 5 К/мин, время выдержки перед съемкой в каждой точке 15 мин. Точность поддержания температуры ± 4 К при температурах ниже 200°C и ± 1 К при 300°C . Во время съемки камера образца откачивалась до давления 0,1 мбар (10 Па).

Межплоскостные расстояния FeBO_3 определялись по закону Вульфа-Брэгга. Индицирование проводилось путем сравнения дифрактограммы исследованного образца, снятой при комнатной температуре со справочными данными для кристалла бората железа. Параметр «с» кристаллической решетки бората железа был определен для пика (0012) по формуле:

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (1)$$

где d – межплоскостное расстояние; h , k и l – индексы интерференции; a и c – параметры элементарной гексагональной ячейки.

Результаты приведены на рисунке 1.

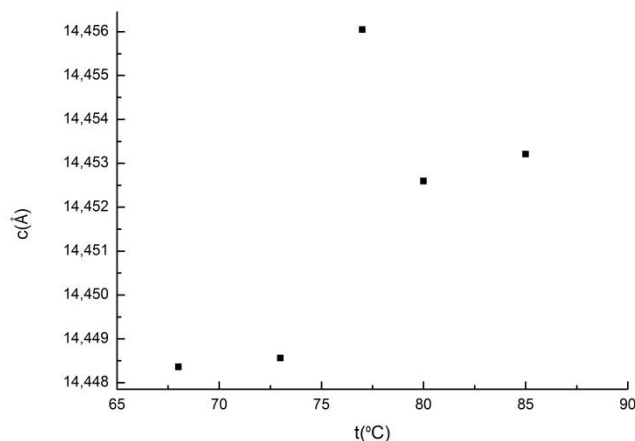


Рис. 1. Зависимость параметра «с» гексагональной кристаллической решетки бората железа от температуры.

Видно, что борат железа FeBO_3 имеет аномальное тепловое расширение в области точки Нееля, что достаточно характерно для антиферромагнетиков, [4].

Измерения выполнены в ЦКП «Урал-М» в ИМЕТ УрО РАН.

1. Diehl R. Sol. Stat. Com., 17(6), C.743-745 (1975).
2. Zamkovskaya A., Maksimova E., Nauhatsky I., Shapoval M., J. Phys.: Conf. Ser., 929 012030, (2017)
3. Markovin P. A., Kalashnikova A. M., Pisarev R. V., Rasing Th., JETP Letters, V. 86 N. 11 (2007)
4. Grazhdankina N. P., Gurfel' D. I., J. Exptl. Theoret. Phys., 35, C. 907-910 (1958)

DOMAIN WALL SHAPE INSTABILITY IN CONGRUENT LITHIUM TANTALATE DURING SWITCHING BY ION BEAM

Gimadeeva L.V.^{*}, Chezganov D.S., Vlasov E.O., Vaskina E.A., Shur V.Ya.

School of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

^{*}E-mail: lv.gimadeeva@urfu.ru

The investigated samples were represented by 0.5-mm-thick Z-cut congruent LT wafer. The Z^+ polar surface before irradiation was covered by 500-nm-thick layer of photoresist. The solid 100-nm-thick Cu electrode was sputtered on Z^- -surface and grounded during irradiation. The irradiation was performed by scanning electron microscope Auriga Crossbeam (Carl Zeiss) attached with electron-beam lithography system Elphy Multibeam (Raith). The created domains after chemical removing of resist layer and electrode were visualized at the polar surface by scanning electron microscopy (SEM) after selective chemical etching in pure HF [1,2] and by piezoresponse force microscopy (PFM) without etching.

The formation of domain arrays induced by ion beam irradiation and domain wall shape instability effect were studied. The nonlinear dose dependence of the circular domain radius was revealed. The obtained wide dispersion of domain radii in arrays was attributed to additive impact of injected charges to the total electric field. The domain shape distortion at high doses was attributed to interaction of domain walls with earlier created domains. The domain wall shape instability (appearance of periodical fingers oriented mainly along X direction) was obtained for doses above 20 pC. The increase of the fractal dimension with dose was attributed to increase of the finger lengths, while the finger number remained approximately constant during domain growth.

All obtained results were explained by kinetic approach based on analogy with first order phase transitions. The isotropic domains growth was a result of stochastic nucleation due to prevailed isotropic screening mechanism caused by injected ions and holes generated by electron-hole process due to ions collision with the irradiated sample. The domain wall shape instability was due to electrostatic interaction between approaching domain walls leading to a screening retardation in highly nonequilibrium switching conditions caused by existence of the surface dielectric layer.

The equipment of the Ural Center for Shared Use "Modern nanotechnology" UrFU was used. The research was made possible in part by Government of the Russian Federation (Act 211, Agreement 02.A03.21.0006) and by President of Russian Federation grant for young scientists (Contract 14.Y30.16.8441-MK). V.S. acknowledges financial support within the State Task from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Project No. 1366.2014/236).

1. Shur V.Ya. et al., Appl. Phys. Lett., 87, 022905 (2005).
2. Kuznetsov D.K., Chezganov D.S. et al., Ferroelectrics, 503, 60-67 (2016).

THE FERROELECTRIC DOMAIN FORMATION UNDER THE ACTION OF AN ELECTRON BEAM IN LITHIUM NIOBATE CRYSTALS

Vlasov E.O.*, Chezganov D.S., Gimadeeva L.V., Chuvakova M.A., Shur V.Ya.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: evgeny.vlasov@urfu.ru

We have investigated the domain formation under the action of an electron beam in lithium niobate crystals covered by dielectric layer at room and elevated temperatures.

The studied samples were represented by 0.5-mm-thick Z-cut plates of CLN single crystals. The irradiated Z- polar surface was covered by various dielectric layers. The solid copper electrode was deposited at the opposite polar surface and grounded during irradiation. The Auriga Crossbeam workstation (Carl Zeiss) equipped with electron beam lithography system Elphy Multibeam (Raith GmbH). was used for the irradiation of the samples at room temperature, the scanning electron microscope (SEM) Merlin (Carl Zeiss) equipped with thermal stage C1003 (Gatan Inc.) for irradiation at the elevated temperature up to 250 °C. The domain structure was visualized by SEM after selective chemical etching in pure hydrofluoric acid.

The dot irradiation at the room temperature led to formation of hexagonal domains at the room temperature. The temperature increase led to instability of domain shape resulted in formation of jagged domain wall. The dependences of geometrical parameters on dose were measured and influence of elevated temperature on threshold dose was established.

We have studied the stripe domain formation. Four types of domain structures were distinguished: (1) isolated nanodomains; (2) isolated domain rays oriented along Y+ crystallographic direction; (3) solid domains with jagged domain walls (“fish-bone” structure); and (4) continuous solid stripe domains. The obtained types of the domain structure have been considered as subsequent stages of domain structure evolution. We have used the dependences on dose of domain density, length, and period of domain rays and stripe domain width to describe the domain structure evolution. The threshold dose necessary for formation of solid stripe domain has been revealed [1].

All obtained results have been explained in terms of kinetic approach based on analogy of domain growth with first order phase transition [2].

The equipment of the Ural Center for Shared Use “Modern nanotechnology” Ural Federal University was used. The research was made possible by the Russian Science Foundation (grant № 17-72-10152).

1. Vlasov E.O. Chezganov D.S. et al., Scanning, in print (2018).
2. Shur V.Ya., J. Mater. Sci., 41, 199 (2006).

НАПРАВЛЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ НАНОСТРУКТУР

Козловский А.Л.^{*}, Кадыржанов Д.Б.

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

^{*}E-mail: artem88sddt@mail.ru

DIRECTED MODIFICATION OF NANOSTRUCTURES

Kozlovskiy A.L.^{*}, Kadyrzhanov D.B.

Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

Annotation. The use of ionizing radiation is an effective tool for stimulating a controlled modification of structural and conductive properties of nanomaterials. The paper presents the results of studies of the influence of irradiation with Ar^{+8} ions with an energy of 1.75 MeV/nucleon with a fluence from 1×10^9 to 5×10^{11} ion/cm² on structural and conductive properties of Zn nanotubes. Using SEM, X-ray diffraction and EDA methods it was established that irradiation with Ar^{+8} ions makes it possible to modify the crystal structure of nanotubes, increasing their conductivity and decreasing the resistance of nanostructures, without destroying the structure.

Среди огромного разнообразия металлических наноматериалов, наноразмерные структуры Zn и его оксида ZnO занимают особое положение: они обладают как полупроводниковыми, так и пьезоэлектрическими свойствами, что может служить основой для электромеханически связанных датчиков и преобразователей, они также относительно биологически безопасны, обладают низкой токсичностью и биосовместимостью. Одной из важных особенностей применения наноструктур является их устойчивость к внешним воздействиям, таким как ионизирующее излучение, электронное облучение. Важным аспектом исследований является изучение взаимодействия ионизирующего излучения с наноразмерными объектами, что позволяет не только определить лимитирующие факторы использования наноструктур в условиях экстремальных воздействий, но и придать наноматериалам новые свойства. Ионное облучение является привлекательным методом, который дает возможности не только определять границы применимости наноструктур в экстремальных условиях, но и технологическим процессом, позволяющим в перспективе получать наноматериалы обладающие новыми свойствами.

В работе представлены результаты исследований влияния облучения ионами Ar^{+8} с энергией 1.75 МэВ/нукл с флюенсом от 1×10^9 до 5×10^{11} ион/см² на структурные и проводящие свойства Zn нанотрубок.

Показано, что при увеличении флюенса облучения наблюдается незначительное увеличение параметров элементарной ячейки, что может быть обусловлено увеличением вклада тепловых колебаний. Анализ изменения плотности дислокаций и напряжений в облученных наноструктурах свидетельствует о том, что в результате облучения наблюдается снижение деформации в структуре и

последующей релаксации внутренних напряжений. Однако при увеличении флюенса облучения выше 1×10^{11} ион/см² наблюдается возрастание напряжений, что может быть обусловлено формированием каскадных дефектов в структуре за счет резкого увеличения температурного вклада в изменение кристаллической решетки и переориентации текстурных плоскостей. При этом модификация кристаллической структуры ионами Ar⁸⁺ приводит к изменению проводящих свойств, что обусловлено изменением кристаллической структуры за счет изменения концентрации дефектов и переориентации текстурных плоскостей.

Таким образом, изменение кристаллической структуры а также увеличение проводящих свойств нанотрубок подтверждает возможность применения ионизирующего излучения для контролируемой и направленной модификации Zn нанотрубок.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ ДЕНДРИТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ He-ЧАСТИЦАМИ

Козловский А.Л.*, Кадыржанов Д.Б.

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

*E-mail: artem88sddt@mail.ru

INVESTIGATION OF CHANGES IN THE STRUCTURAL PROPERTIES OF DENDRITES UNDER THE ACTION OF RADIATION IRRADIATION BY HE-PARTICLES

Kozlovskiy A.L.*, Kadyrzhanov D.B.

Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

Annotation. Structure and morphology is the basis for the development of functional nanomaterials with controlled properties for practical use. This work is aimed at studying the effect of irradiation with alpha particles on the structural and conductive properties of Ni / Cu dendrites.

Структура и морфология является основным критерием при разработке функциональных наноструктур с контролируемыми свойствами для практического применения. В свою очередь, металлические наноструктурные дендриты представляют большой интерес в различных областях применений в качестве катализаторов за счет большой площади поверхности и низкой плотности, усилителей электрических сигналов, основы для SERS технологии и т.д.

Данная работа посвящена исследованию влияния ионизирующего излучения на наноматериалы, различной геометрии. Ni/Cu дендриты, выбранные в качестве объектов исследования, были получены методом электрохимического осаждения на гибких полимерных подложках, обладают развитой морфологией и

имеют большой потенциал применения в качестве элементов устройств для микроэлектроники. Низкоэнергетичные ионы He выбраны с целью моделирования накопления трансмутантного гелия, приводящего к набуханию и дефектообразованию в структуре, способного привести к снижению работоспособности электронных устройств.

Установлены зависимости изменения структурных и проводящих свойств от дозы облучения низкоэнергетичными альфа-частицами. Изучено влияние облучения на появление аморфных и дефектных областей, которые приводят к снижению проводимости и ухудшению рабочих характеристик.

LOCAL ELECTROMECHANICAL CHARACTERIZATIONS OF La AND Pr DOPED BISMUTH FERRITE CERAMICS

Abramov A.S.¹, Alikin D.O.^{1,4}, Neradovskiy M.M.^{1,2}, Turygin A.P.¹, Ushakov A.D.¹,
Rokeah R.O.¹, Nikitin A.V.³, Karpinsky D.V.³, Shur V.Ya.¹, Kholkin A.L.^{1,4}

¹⁾ School of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University,
Ekaterinburg, Russia

²⁾ Université Côte d'Azur, CNRS, InPhyNi, Nice, France

³⁾ Scientific-Practical Materials Research Centre of NAS of Belarus, Minsk, Belarus

⁴⁾ Department of Physics & CICECO – Aveiro Institute of Materials,
University of Aveiro, Aveiro, Portugal

*E-mail: alexander.abramov@urfu.ru

The high value of remnant polarization in bismuth ferrite (BFO) thin films prepared by the pulsed laser deposition stimulated scientists to develop BFO-based ceramics [1]. However, preparation of the pure BFO ceramic force face the challenges: high leakage current and low phase stability significantly reducing the piezoelectric performance [2]. In order to resolve these issues substitution by rare-earth elements is usually performed [3]. For example, BFO composition with La doping in vicinity of morphotropic phase boundary (MPB) revealed rather high electromechanical (EM) performance [4]. Doping of BFO by Pr arises spontaneous magnetization, increases piezoelectric coefficient and dielectric permittivity make this composition perspective for the applications in magnetoelectric devices. Due to issues of macroscopic measurement of the EM performance local characterization of the piezoelectric performance and polarization reversal is highly appreciable.

In this contribution, we focused on the methodological aspects of the local characterization of ferroelectric ceramics. We studied BFO ceramics doped by La and Pr with composition close to the MPB produced by conventional solid state reaction pathway. We used single frequency and multi-frequency piezoresponse force microscopy (PFM) approach for quantification and comparison of the EM response in composition of BFO with different degree of Pr doping from 12.5% to 15

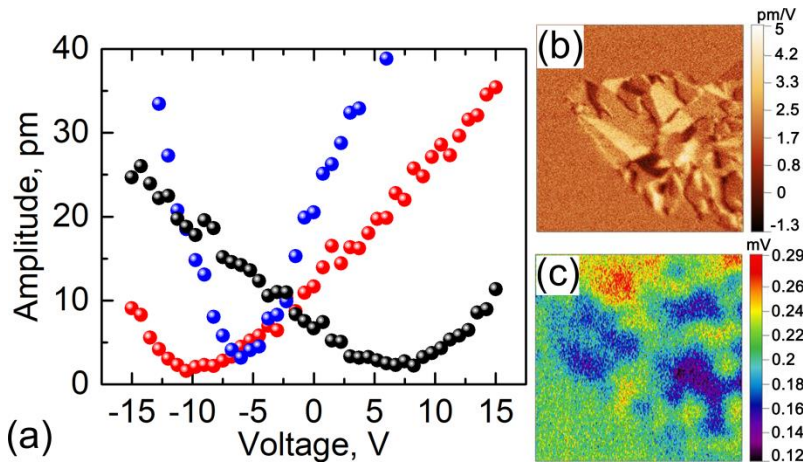


Fig. 1. a) Example of curves obtained in multi-frequency piezoresponse force microscopy regime, b) Signal PFM, c) Surface potential from the same place as PFM.

Analysis of regimes PFM showed that the most reliable data were obtained in multi-frequency on-resonance measurements with additional application of DC bias compensating the cantilever-surface electrostatic interaction. The variation of the surface potential due to electric field produced by screening charges provided considerably higher electromechanical response. We showed that the application of this method is well suited for studying the piezoelectric characteristic of inhomogeneous ferroelectrics.

In La doped ceramics we considered different regimes of local polarization reversal and basic mechanisms which influence on the domain wall propagation in heterogeneous ferroelectric system. The interaction of the domain walls with non-piezoelectric phase inclusions and grain boundaries is discussed in relation to macroscopic properties of ceramics. The proposed methods for the local EM response and polarization reversal characterization is a useful base for the studies of wide class of ferroelectric ceramics.

The equipment of the Ural Center for Shared Use “Modern nanotechnology” was used. The reported study was funded by RFBR according to the research project № 17-52-04074.

1. Wang J., Neaton J.B., et al., Science. 299, 1719-1722 (2003).
2. Rojac T., Benčan A., et al., J Am Ceram Soc. 97, 1993-2011 (2014).
3. Fujino S., Murakami M., et al., Appl Phys Lett. 92, 82-85 (2008).
4. Ghosh A., Damjanovic D., Appl Phys Lett. 99, 232906 (2011).

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ МОДЕЛЬНЫХ КУПРАТОВ

Дикушина Е.А.^{*}, Москвин А.С.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

^{*}E-mail: eadikushina@gmail.com

SIMULATION OF PHASE DIAGRAMS OF MODEL CUPRATES

Dikushina E.A.^{*}, Moskvina A.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

It has been more than 30 years since high-temperature superconductivity in cuprates was discovered. Despite numerous attempts to explain it within the BCS theory, many effects and characteristics of high-temperature superconductors still remain unclear. In this work an alternative mechanism is considered. It is based on the charge transfer and there are three possible on site states – Cu^{1+} , Cu^{2+} и Cu^{3+} . The model is studied with quantum Monte Carlo methods.

Высокотемпературная сверхпроводимость в купратах была обнаружена более 30 лет назад. За это время было немало попыток объяснить высокотемпературную сверхпроводимость в рамках существующей теории сверхпроводимости. Тем не менее эта теория не дает объяснения всем эффектам и характерным особенностям, наблюдаемым в высокотемпературных сверхпроводниках [1].

В данной работе рассматривается механизм сверхпроводимости, обусловленный переносом заряда [2]. В модели используется псевдоспиновый формализм, где проекция псевдоспина определяется количеством дырок на ионе меди и имеет три возможных значения, соответствующие эффективным состояниям Cu^{1+} , Cu^{2+} и Cu^{3+} .

В данном исследовании представлены результаты компьютерного моделирования для двумерных купратов квантовым методом Монте-Карло.

1. Hirsch J.E., Physica Scripta. 80 (2009).
2. Moskvina A.S., Panov Yu.D., J. Supercond. Nov. Magn. (2017).

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА BaF_2 -НАПОЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ КОМПОЗИТНЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

Шевелев В.С.^{1*}, Ищенко А.В.¹, Платонов В.В.², Соковнин С.Ю.^{1,2}, Ильвес В.Г.²,
Тихонов Е.В.², Карженков О.И.¹, Шульгин Б.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: svs30114@gmail.com

LUMINESCENT PROPERTIES OF BaF_2 -ADDITIVES FOR COMPOSITE SCINTILLATORS

Shevelev V.S.^{1*}, Ishchenko A.V.¹, Platonov V.V.², Sokovnin S.Yu.^{1,2}, Il'ves V.G.²,
Tikhonov E.V.², Karzhenkov O.I.¹, Shulgin B.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Electrophysics UD RAS, Yekaterinburg, Russia

In this work the influence of different synthesis methods on luminescent properties of nanocrystalline BaF_2 synthesized by laser ablation and electron beam method, is studied. Normolized and absolute X-ray excited luminescence (XEL) spectra for all samples are presented. XEL spectra contain two emission bands at 222 nm (cross-luminescence band) and at 300 nm caused by self-trapped exciton. Samples obtained by laser ablation method characterized by most effective luminescence intensity.

Наноккомпозитные материалы относятся к новому перспективному классу сцинтилляционных материалов. Они за счет добавления неорганической наноразмерной добавки характеризуются большей эффективностью поглощения энергии ионизирующего излучения, чем традиционные органические соединения. При этом данный вид сцинтилляционных материалов характеризуется менее трудоёмкой технологией создания, что значительно снижает стоимость производства, а также дает возможность создавать сцинтилляторы любых размеров и форм. Исследования составов с различными неорганическими наполнителями ведутся в крупнейших мировых лабораториях, в том числе в Лос-Аламосской лаборатории США [1].

Одним из перспективных наполнителей для наноккомпозитных материалов является BaF_2 [2]. В данной работе представлены исследования люминесцентных свойств наноразмерных BaF_2 добавок полученных при помощи импульсного электронного испарения [3], со средним размером частиц 10 нм а также методом лазерной абляции [4], со средним размером частиц 70 нм. Морфология порошков была изучена методом сканирующей электронной микроскопии. Спектры рентгенолюминесценции представлены для образцов, полученных методом лазерной абляции (BaF_2_{la}), испарением мишени импульсным электронным пучком в газе низкого давления ($\text{BaF}_2_{\text{epb}}$), а также для исходного матери-

ала ($\text{BaF}_2_{\text{raw}}$) (см. рис.1 а,б). Анализ формы пиков проводился для нормированных спектров.

Для исследуемых образцов в спектрах рентгенолюминесценции наблюдается перераспределение интенсивностей основного пика 300 нм и пика кросс-люминесценции 222 нм. Для наноразмерного BaF_2 , полученного путем испарения мишени импульсным электронным пучком, также наблюдается небольшой относительный рост интенсивности в области 400–550 нм.

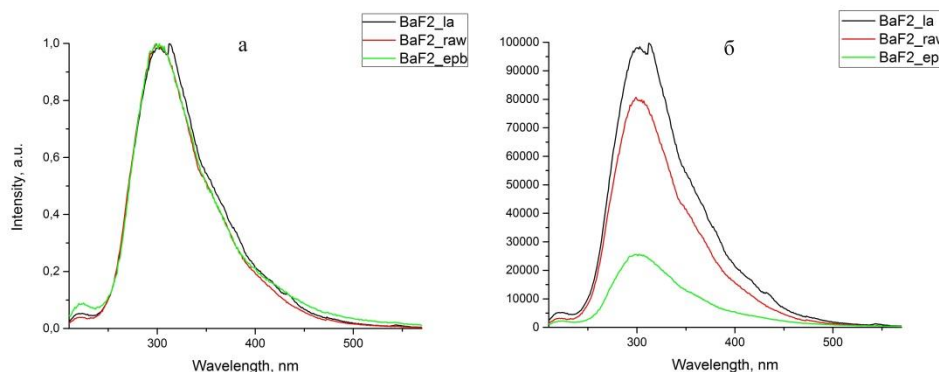


Рис.1. Спектры рентгенолюминесценции для исследуемых образцов:

а) -нормированный; б) – без нормировки.

Предварительные исследования показали, что для наноразмерных образцов BaF_2 , полученных методом лазерной абляции, может иметь место размерный эффект. В докладе также будут представлены результаты исследования влияния термической обработки нанопорошков при разных температурах в различной атмосфере (воздух, аргон, азот) на их люминесцентные свойства. В результате проведенных исследований можно констатировать, что наноматериалы на основе BaF_2 являются перспективными для использования их в качестве люминесцентных неорганических наполнителей для нанокомпозитных сцинтилляторов.

1. Wayne Cooke D. et al., Patent No.:US 7 525 094 B2. 2009.
2. Demkiv T.M. et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 810 (2016).
3. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю., Ильвес В.Г., Чанг К.Р., Патент РФ №.: 2353573.
4. Шевелев В.С., Ищенко А.В., Ягодин В.В., Платонов В.В. Проблемы спектроскопии и спектрометрии, Вузовско-акад. сб. науч. трудов. УрФУ. Вып. 36, с. 75-82 (2016).

ОРГАНИЧЕСКИЕ СМЕСТИТЕЛИ СПЕКТРА ДЛЯ КОМПОЗИТНЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

Шевелев В.С., Ищенко А.В., Павлюк Д.Е., Копчук Д.С., Ковалев И.С.,
Зырянов Г.В., Апаликов Н.В., Шульгин Б.В.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: sys30114@gmail.com

ORGANIC SHIFTERS FOR COMPOSITE SCINTILLATORS

Shevelev V.S.*, Ishchenko A.V., Pavlyuk D.E., Kopchuk D.S., Kovalev I.S.,
Zyryanov G.V., Apalikov N.V., Shulgin B.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work luminescence properties of different organic shifters are studied. Absorption, photoluminescence and excitation spectra are presented. Photoluminescent spectrum contain emission band with maximum at 436 nm. This peak most effectively excited by light with 420 nm and 310 nm wavelengths.

Нанокompозитные материалы являются перспективным направлением развития сцинтилляционного метода регистрации ионизирующих излучений (ИИ). Размещение неорганического наполнителя-люминофора в органической матрице позволяет увеличить эффективность поглощения энергии ИИ и повысить световыход. При этом данная технология не является трудоемкой и позволяет создавать сцинтилляционные материалы различных объемов и размеров. Разработки по данной теме ведутся в крупнейших мировых научных центрах [1]. Одной из важных проблем на пути создания данных материалов является согласование спектров поглощения органической матрицы и спектра свечения неорганического наполнителя. Решением этой задачи может быть использование сместителей-спектров с требуемыми параметрами.

В данной работе представлены результаты исследований оптических и люминесцентных свойств следующих соединений 1-аминопирен (шифр КОВСН4), 1,6-дибром-2,3,7,8-бис(1,9-2Н-антрацен-1,9-диил)пирен (шифр КОВСН8), бензо[ghi]перилен-1,2-дикарбоксилат калия (шифр КОВСН21) синтезированных на кафедре органической и биомолекулярной химии ХТИ УрФУ. На рис. 1 в качестве примера представлены спектры оптического поглощения (рис. 1а), фотолюминесценции (ФЛ) и возбуждения фотолюминесценции (ВФЛ) (рис. 1б) для органического сместителя с шифром КОВСН4.

Спектр поглощения соединения с шифром КОВСН4 содержит несколько полос. Максимальное поглощение наблюдается для 220 нм. Также присутствуют полосы с максимумами 275, 285, 363, 380 и 403 нм. На спектрах фотолюминесценции наблюдается одна несимметричная полоса свечения для разных длин волн возбуждающего света, с максимумом в области 436 нм. Данный максимум

свечения наиболее эффективно возбуждается излучением с длиной волны 420 и 310 нм.

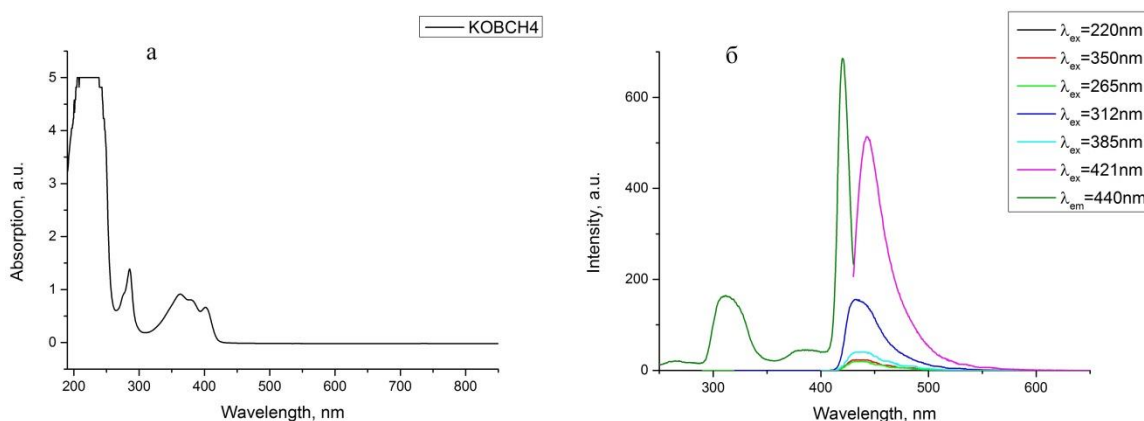


Рис.1. Спектры оптического поглощения (а), ФЛ и ВФЛ (б) для органического соединения с шифром КОВСН4

Таким образом, данное соединение можно использовать в качестве сместителя спектра для неорганического наполнителя BaF_2 , имеющего интенсивную полосу люминесценции в области 310 нм, связанную с распадом автолокализованных экситонов [2].

В докладе будут представлены результаты сравнительных исследований оптических и люминесцентных свойств всех трех соединений.

1. Wayne Cooke D. et al., Patent No.:US 7 525 094 B2. 2009.
2. Laval M. et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. 206 (1983).

РАЗРАБОТКА АСЕПТИЧЕСКОЙ УПАКОВКИ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Загруддинова А.К.*, Галиханов М.Ф., Галиуллина А.С., Минзагирова А.М.

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
г. Казань, Россия

*E-mail: habibati@bk.ru

DEVELOPMENT OF ASEPTIC PACKAGING FOR MEDICAL INSTRUMENTS

Zagrutdinova A.K.*, Galikhanov M.F., Galiullina A.S., Minzagirova A.M.

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Abstract. An electret composite material was developed for the application as aseptic packaging for medical instruments. Introduction of 2-6 vol. % of montmorillonite into polyethylene was shown to enhance its electret properties. Microbiological studies demonstrated efficiency of the aseptic packaging.

Соблюдение асептических условий или стерильности в медицине является обязательным и необходимым. Для стерилизации материалов и инструментов, используемых медицинскими работниками, применяют воздействие паром под давлением (автоклавирование), воздействие горячим воздухом в сухожаровом шкафу или воздействие парами газов окиси этилена или формальдегида (химический способ, «холодное» воздействие). Однако после процесса стерилизации встает вопрос о сохранении стерильности материалов и инструментов длительное время, т.е. о специальной упаковке, которая убережет их от повторного заражения.

В настоящее время в качестве антибактериальной упаковки пищевых продуктов предлагаются электретные пленки [1-2]. Электрет – это диэлектрик, длительное время сохраняющий поляризованное состояние после снятия внешнего воздействия, которое привело к поляризации (или заряджению) этого диэлектрика, и создающий в окружающем пространстве квазипостоянное электрическое поле [3]. Создаваемое электретом поле негативно воздействует на жизнедеятельность патогенных микроорганизмов, приводящих к порче упакованных пищевых продуктов [1-2].

В настоящей работе в качестве электретного материала предложен композит на основе полиэтилена и монтмориллонита. Формирование стабильного электретного заряда (электретирование) произведено наиболее эффективным и технологичным способом – зарядкой полимерных пленок в униполярном коронном разряде.

Исследования показали, что при увеличении содержания наполнителя в композите происходит рост стабильности электретного состояния за счет появления структурных микродефектов. Так же, монтмориллонит, обладает большим значением удельной поверхности, а значит, при введении его в полимерную матрицу образуется протяженная граница раздела фаз «полимер – наполнитель». В подобной системе наблюдается эффект Максвелла-Вагнера, заключающийся в поляризации на границе раздела фаз за счет разницы электропроводимостей компонентов системы.

Способность электретного состояния материала негативно влиять на развитие микроорганизмов позволяет сделать вывод о возможности использования данного композита в качестве асептической упаковки для хранения стерильных медицинских инструментов.

1. Sessler G., Electrets, Springer, Berlin (1987).
2. Крыницкая А.Ю., Борисова А.Н., Галиханов М.Ф., Сысоева М.А., Гамаюрова В.С., Влияние «активного» упаковочного материала на развитие микроорганизмов в пищевых продуктах, Пищевая промышленность, 1, 27 (2011).
3. Galikhanov M., Guzhova A., Borisova A. Effect of active packaging material on milk quality, Bulgarian Chemical Communications, 46, Special issue B, 142 (2014).

ОСОБЕННОСТИ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ПЛЕНОК $\text{FeMn/Fe}_{20}\text{Ni}_{80}/\text{Co-Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$

Горьковенко А.Н.^{*}, Лепаловский В.Н., Васьковский В.О.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: a.n.gorkovenko@urfu.ru

THE FEATURES OF THE DOMANE STRUCTURE OF $\text{FeMn/Fe}_{20}\text{Ni}_{80}/\text{Co-Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ MULTILAYERS Gorkovenko A.N.^{*}, Lepalovskij V.N., Vas'kovskiy V.O.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this work we investigated influence of the composition and thickness of the $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ spacer on the interlayer coupling in $\text{FeMn/Fe}_{20}\text{Ni}_{80}/\text{Co-Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$ multilayers. It was shown that the antiparallel orientation of the magnetization in the exchange coupled permalloy sublayers is accompanied by the formation of volumetric magnetic inhomogeneity, which can be interpreted as a ripple of magnetization.

Магнитные и магниторезистивные свойства плёночных структур, включающих ферромагнитные слои, разделенные проводящими или диэлектрическими прослойками, достаточно подробно описаны в литературе [1]. Однако, существенно меньше внимания уделено магнитным структурам с композиционными прослойками металл-диэлектрик [2]. В данной работе исследуется влияние состава и толщины прослойки $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$ на особенности перемагничивания в пленках типа $\text{FeMn/Fe}_{20}\text{Ni}_{80}/\text{Co-Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}$.

Непосредственным объектом исследования выступали многослойные пленки $\text{SiO}_2/\text{Ta}(5)/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(5)/\text{FeMn/Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(40)/\text{Ta}(5)$ (в скобках указана толщина слоев в нм), полученные методом магнетронного распыления на стеклянных подложках Corning. Прослойка $\text{Co}_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ толщиной L вводилась во внешний слой пермаллоя, разделяя его на два равных по толщине субслоя: внешний и внутренний. Таким образом, анализировались закономерности перемагничивания структурного блока $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(20)/\text{Co-Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(20)$, в котором внутренний субслой имел обменное закрепление со стороны слоя FeMn. Толщина прослойки L варьировалась в диапазоне от 0 до 8 нм при концентрации металлической фазы $x = 0, 40$ ат. %. Наблюдение доменной структуры и измерение магнитных свойств проводилось при помощи Керровского магнитометра Evenco Magnetics.

На рисунке 1 представлены фотографии доменной структуры внешнего субслоя пермаллоя структурного блока $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(20)/\text{Co}_{40}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{60}(2)/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(20)$. Они измерены в двух конфигурациях (модах). В одном случае плоскость падения-отражения поляризованного света была параллельна (продольная мода), а в другом перпендикулярна (поперечная мода) оси приложения внешнего магнит-

ного поля. При этом по отношению к образцу ориентация внешнего поля в обеих модах была одинакова – поле прикладывалось вдоль оси магнитной анизотропии. Видно, что внешний субслой пермаллоя перемагничиваются путем образования и трансформации крупных доменов (рис.1,*а*). Однако имеет место довольно выраженная тонкая доменная структура, регистрируемая в поперечной моде, состоящая из доменов ориентированных перпендикулярно оси анизотропии (рис 1,*б*). Таким образом, при послойном перемагничивании обменно-связанных ферромагнитных слоев межслойных интерфейсов формируется в виде некоторой магнитной неоднородности наподобие ряби намагниченности, которую можно интерпретировать как магнитную структуру, в которой от домена к домену идет небольшое знакопеременное отклонение намагниченности от оси анизотропии. Оно дает магнитооптический контраст в поперечной моде и практически не заметно в продольной моде, поскольку продольная составляющая намагниченности практически не изменяется.

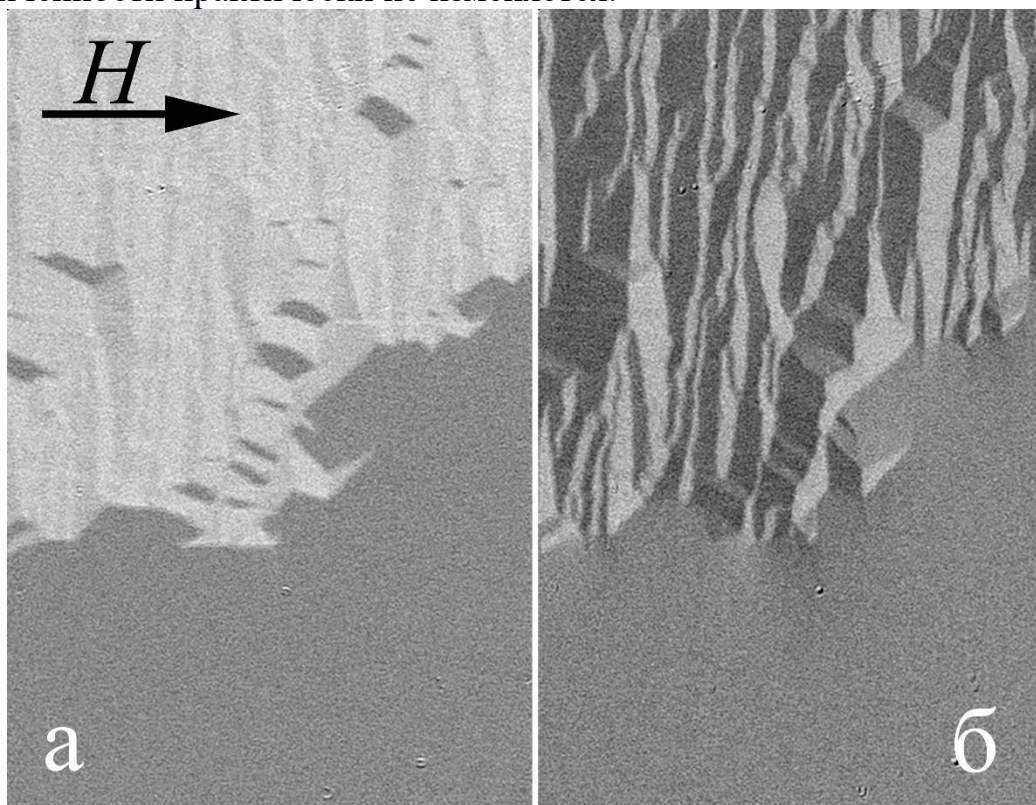


Рис. 1. Фотографии магнитных доменов структурного блока $\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(20)/\text{Co}_{40}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{60}(2)/\text{Fe}_{20}\text{Ni}_{80}(20)$, соответствующие продольной (*а*) и поперечной (*б*) модам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-00327 мол_а.

1. Nogues J., Schuller I. K., JMMM, 192, 203 (1999).
2. Gómez J., Weston J. L., Butera A., J. Appl. Phys., 100, 053908 (2006).

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРОН-ЭЛЕКТРОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ЛЕГИРОВАННЫХ ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ

Дюбуа А.Б.¹, Конюхов А.Н.¹, Кучерявый С.И.², Машнина С.Н.¹,
Потапова В.В.¹, Сафoshкин А.С.¹

¹) Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань, Россия

²) Обнинский институт атомной энергетики ИАТЭ Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Обнинск, Россия

*E-mail: safoshkin.a.s@rsreu.ru

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE ELECTRON-ELECTRON INTERACTION IN THE DOPED HETEROJUNCTION

Dubois A.B.¹, Konyukhov A.N.¹, Kucheryavy S.I.², Mashnina S.N.¹,
Potapova V.V.¹, Safoshkin A.S.¹

¹) Ryazan State Radioengineering University, Ryazan, Russia

²) Institute of Atomic Energy of National Research Nuclear University of Moscow Engineering Physics University, Obninsk, Russia

Annotation. The article discusses the joint solution of the Schrödinger and Poisson equations for two-dimensional semiconductor heterojunction. The application of a triangular potential of well approximation for the calculation of the electron-electron interaction is offered in the paper. The influence of the parameters of the selected approximation was analyzed.

Работа направлена на выяснение вклада внутривоззонной и междозонной электрон – электронной релаксации в затухание квантования Ландау осцилляций поперечного магнитосопротивления. Для сильнолегированного гетероперевода, аппроксимированного треугольным потенциальным профилем, когда заполнены основная и возбужденная подзоны размерного квантования, получены выражения параметрических зависимостей от температуры, которые объясняют экспериментальные зависимости [1].

Рассмотрим процесс взаимодействия частиц с импульсом \mathbf{k} и \mathbf{p} . В результате взаимодействия получаются частицы с импульсами $\mathbf{k} + \mathbf{q}$ и $\mathbf{p} - \mathbf{q}$. Вероятность такого процесса пропорциональна интегралу столкновений

$$\sum_{\mathbf{k}, \mathbf{p}} \delta(E_j(\mathbf{k} + \mathbf{q}) + E_l(\mathbf{p} - \mathbf{q}) - E_i(\mathbf{k}) - E_k(\mathbf{p})) f_{\mathbf{k}} f_{\mathbf{p}} (1 - f_{\mathbf{k} + \mathbf{q}}) (1 - f_{\mathbf{p} - \mathbf{q}}),$$

где f — функция распределения Ферми — Дирака. Индексы i, j, k, l обозначают следующее: электрон, находящийся в состоянии i взаимодействует с электроном в состоянии k , в результате чего происходят переходы соответственно в состояния j и l . С точностью до второго члена разложения внешнего возмуща-

ющего потенциала теории возмущений выражение для времени электрон-электронного взаимодействия может быть представлено в виде

$$\frac{1}{\tau_{ij}^{ee}} = \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \sum_{k,m} \sum_{\mathbf{q}} |V_{tot}^{ijkl}(\mathbf{q}, \omega)|^2 \sum_{\mathbf{k}, \mathbf{p}} \delta(E_j(\mathbf{k} + \mathbf{q}) + E_l(\mathbf{p} - \mathbf{q}) - E_i(\mathbf{k}) - E_k(\mathbf{p})) f_{\mathbf{k}} f_{\mathbf{p}} (1 - f_{\mathbf{k}+\mathbf{q}})(1 - f_{\mathbf{p}-\mathbf{q}}),$$

где $V_{tot}^{ijkl}(\mathbf{q}, \omega)$ — матричный элемент полного потенциала экранирования. В ряде экспериментальных работ по исследованию особенностей осцилляций поперечного магнитосопротивления Шубникова – де Гааза (ШДГ) в широком диапазоне температур и магнитных полей для объемных 3D и двумерных 2D электронов обнаружены некоторые аномалии, имевшие определенную общность в качественном сходстве, но и существенные различия. Например, была обнаружена осциллирующая зависимость температуры Дингла, а, следовательно, и времени малоугловой релаксации, от температуры [2]. Эти осцилляции были обнаружены для сильнолегированных гетеропереходов ($n_s > 8.5 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$), в которых заполнена основная и вторая возбужденная подзона размерного квантования. Была установлена однозначная связь этих аномалий с сильным (для вырожденных 3D и 2D электронов) электрон - электронным взаимодействием.

Для качественного и количественного объяснения наблюдаемых эффектов необходимо рассмотрение каналов электрон - электронных взаимодействий в сложной системе 2D вырожденных электронов. Окончательные зависимости времени электрон-электронного взаимодействия рассчитывались в соответствии с правилом Маттиссена.

1. Аверкиев Н.С., Монахов А.М., Саблина Н.И., Koenraad P.M. Об обработке экспериментальных данных по осцилляции магнетосопротивления в двумерном электронном газе. – Физика и техника полупроводников. – 2003. – Том 37, вып. 2. – С. 169-172.
2. Пайнс Д., Нозьер Ф. Теория квантовых жидкостей. – М.: Мир, 1967. – 382 с.
3. Дюбуа А.Б., Зилотова М.А., Кучерявый С.И., Сафoshкин А.С. – Кинетические процессы в умеренно легированном гетеропереходе. – Вестник РГРТУ. – 2013. – №3(45). – С. 88-92.
4. Ambartsumyan V.A., Andryushchenko E.A., Bukhensky K.V., Dubois A.B., Dvoretzkova E.A., Gordova T.V., Kucheryavyy S.I., Mashnina S.N., Safoshkin A.S. – Channels of electron-electron interactions in highly doped heterojunction. – Nanosystems: physics, chemistry, mathematics. – 2014. – Vol. 5, Issue 3. – pp 343-353.
5. Bukhensky K.V., Dubois A.B., Gordova T.V., Kucheryavyy S.I., Mashnina S.N., Safoshkin A.S. – Electron-electron interactions in highly doped heterojunction. – Physics Procedia. – 2015. – Vol. 71. – pp. 359 – 363.
6. A V Baskakova, K V Bukhensky, A B Dubois, S I Kucheryavyy, S N Mashnina and A S Safoshkin – Kinetic processes in heavily doped semiconductor heterojunctions. - Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Volume 747, Number 1, 012026.

EVOLUTION OF THE POLARIZED STATE IN RHOMBOEDRICAL 0.74Pb(Mg_{1/3}Nb_{1/3})O₃–0.26PbTiO₃ SINGLE CRYSTAL AT ELEVATED TEMPERATURE

Zoteev K.F.^{*}, Alikin D.O., Turygin A.P., Ushakov A.D., Hu Q., Shur V.Ya.

School of Natural Sciences and Mathematics, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

*E-mail: kirill.zoteev.lab@gmail.com

Single crystalline 0.74Pb(Mg_{1/3}Nb_{1/3})O₃–0.26PbTiO₃ (PMN-xPT) exhibits classical ferroelectric behavior with PT content higher 30 % and typical relaxor behavior with PT below 30% [1]. At present, the use of relaxors in optoelectronics, nonlinear optics and piezoelectricity is of special interest, therefore, attempts are being made to create regular micron and submicron domain structures, as well as to search for methods of these structures stabilization [2]. The main advantage of PMN-xPT is the extremely high piezoelectric, electro-optical and non-linear optical coefficients. The main issue is that the relaxor behavior hampered significantly creation of single domain state which could maximize the dielectric and piezoelectric response and make possible realizing of the domain engineering in the material.

This research is devoted to study of the polarized state temporal and temperature evolution in PMN-26PT single crystals at the nanoscale. We used piezoresponse force microscopy (PFM) approach for the local polarization of the area by scanning probe microscopy tip and visualization of the created domain pattern degradation coupled

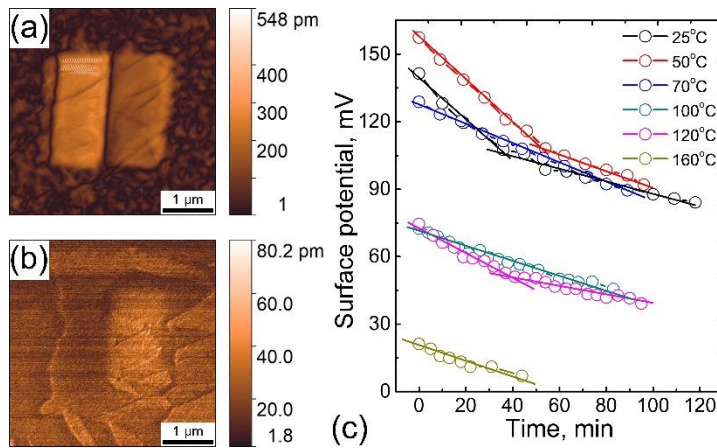


Fig. 1. Polarized state produced in PMN-26PT by local bipolar poling of a square region (-20 V / 20 V) at the (a) room temperature (25 °C) and b) elevated temperature (160 °C), c) surface potential temporal evolution at different temperature.

with relaxation of the surface potential localized at the domain walls. Surprisingly we found essentially stable macroscopic response in whole temperature range up to Curie temperature while local studies revealed rapid relaxation (Figure 1). The change of the surface potential with temperature we attributed to the rhomboedrical-tetragonal phase transition corresponding to the appearance of the relaxor state with character non-polar regions. We observed the relaxation of the

surface potential at different temperatures and found that the rate of surface charge relaxation depends on the temperature, namely, the higher temperature leads to the faster the relaxation of the potential. The surface potential relaxation is discussed in

terms of residual depolarization field screening while PFM pattern degradation we explained as back switching. Obtained results give further insight in stabilization of polarized states in relaxor ferroelectrics.

The research was made possible in part by RFBR (grant 17-52-80116-BRICS_a).

1. Kleemann W., J. Mater. Sci., 41, 129–136 (2006).
2. Gruverman A., Kalinin S., J. Mater. Sci., 41, 107–116 (2006).

ТЕМПЕРАТУРНОЕ ТУШЕНИЕ ФОТОЛЮМИЕСЦЕНЦИИ УГЛЕРОД-КИСЛОРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ГЕКСАГОНАЛЬНОМ НИТРИДЕ БОРА

Шалякин С.А.^{*}, Угланов Е.А., Вохминцев А.С., Минин М.Г., Вайнштейн И.А.

НОЦ НАНОТЕХ, Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: gimbsnake@yandex.ru

PHOTOLUMINESCENCE THERMAL QUENCHING OF CARBON-OXYGEN COMPLEXES IN HEXAGONAL BORON NITRIDE Shalyakin S.A., Uglanov E.A., Vokhmintsev A.S., Minin M.G., Weinstein I.A.

NANOTECH Center, Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Photoluminescence quenching curves were measured in 3.9 eV band and 7 – 1100 K range under inter-band and direct excitation of carbon-oxygen complexes in h-BN micropowder. It is shown that sample under study is synthesized under the conditions of nitrogen lack, and total concentration of C and O impurities is < 3.5 at. %. Quenching activation energies are determined in the frame of the Mott ratio. Band diagram is proposed for carbon-oxygen defects in h-BN.

Гексагональный нитрид бора (h-BN) или белый графит обладает уникальным набором электрофизических свойств, что делает его перспективным материалом для создания Ван-дер-Вальсовых гетероструктур для целей оптоэлектроники и нанофотоники. Известно, что энергетическая щель h-BN варьируется в диапазоне 3.6 – 7.1 эВ и зависит от способа синтеза, примесного состава и др. При наличии неконтролируемых примесей углерода и кислорода возникает яркое однофотонное УФ излучение точечных дефектов по донорно-акцепторному механизму. Указанное свечение имеет бесфоновую линию ≈ 4.1 эВ с кинетикой затухания ≈ 1 нс и характеризуется вибронной структурой с энергией фононов 0.17 – 0.18 эВ. В то же время имеется недостаточно данных о температурных зависимостях данной люминесценции. В этой связи цель работы заключалась в исследовании особенностей процессов температурного тушения флуо-

ресценции (ФЛ) при межзонном и прямом возбуждении углерод-кислородных дефектов в h-BN.

В работе исследовался микропорошок гексагонального нитрида бора, синтезированный на опытном заводе «УНИХИМ с ОП». Порошок h-BN имел хлопьевидную морфологию с характерными элементами чешуйчатой формы со средним размером – 7 ± 3 мкм. Образец содержал 99 % h-BN с периодами кристаллической решетки $a = 2.5044$ Å и $c = 6.6562$ Å. На основе качественного и количественного химического анализа сделан вывод, что исследуемый образец h-BN синтезирован в условиях недостатка N, а основными примесями являются C и O. Общее содержание примесей не превышало 3.5 ат. %.

Температурные зависимости ФЛ в диапазоне 300-1100 К измерялись на спектрометре Perkin Elmer LS55 с высокотемпературной приставкой, а в диапазоне 7-350 К – на том же спектрометре, но с гелиевым криостатом замкнутого цикла Janis CCS-100/204N. Вакуум внутри криостата обеспечивался турбонасосной станцией HiCube 80 Eco на уровне $7 \cdot 10^{-5}$ мбар. Управление температурой осуществлялось контроллером LakeShore 335. Температурные зависимости ФЛ измерялись в режиме охлаждения со скоростями 1 и 0.1 К/с в диапазонах 300 – 1100 и 7 – 350 К, соответственно. Свечение регистрировалась в полосе 3.9 эВ при возбуждении в полосах 5.9 и 4.3 эВ. Спектральная ширина щелей возбуждающего и регистрирующего монохроматоров составляла 3 нм.

В работе показано, что интенсивность ФЛ углерод-кислородных комплексов в h-BN уменьшается при увеличении температуры и падает до фоновых значений при ≈ 900 и ≈ 1100 К для межзонного (в полосе 5.9 эВ) и прямого (в полосе 4.3 эВ) возбуждений, соответственно. Проведен количественный анализ измеренных кривых температурного тушения ФЛ в рамках соотношения Мотта. Определено, что при прямом возбуждении имеются два безызлучательных канала релаксации с энергиями активации тушения $E_q \approx 0.1$ и 1.2 эВ, а при межзонном возбуждении – один канал с $E_q \approx 0.2$ эВ. Выполнен анализ полученных экспериментальных данных в предположении внешнего механизма тушения в рамках модели Шона-Класена. Обсуждается зонная диаграмма углерод-кислородных дефектов в h-BN.

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДОВ НА ОСНОВЕ НАНОТУБУЛЯРНОГО ДИОКСИДА ТИТАНА

Фатыков К.К., Камалов Р.В., Вохминцев А.С., Вайнштейн И.А.

НОЦ НАНОТЕХ, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: fatykov.kirill@yandex.ru

INSTALLATION FOR PHOTOELECTROCHEMICAL MEASUREMENTS OF NANOTUBULAR TITANIA BASED ELECTRODES

Fatykov K.K., Kamalov R.V., Vokhmintsev A.S., Weinstein I.A.

Nanotech Center, Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The laboratory setup for studying the photoelectrochemical activity of electrodes based on nanotubular titanium dioxide has been developed. I-V curves were measured under various light flux ranging from 115 to 325 W/cm². Main parameters of the photoelectrochemical cell were determined.

Диоксид титана находит широкое применение в фотовольтаике и фотокатализе. Особенный интерес представляют нанотубулярные структуры TiO₂-НТ вследствие возможности создания на этапе синтеза развитой поверхности и высокой степени дефектности оксидного слоя, что оказывает влияние на эффективность генерирования электрон-дырочных пар под воздействием света. В связи с этим цель работы заключалась в создании измерительного стенда и определения характеристик фотоэлектрохимических ячеек на основе нанотубулярных структур TiO₂-НТ, полученных анодным окислением металлического титана.

Синтез TiO₂-НТ осуществлялся в термостатированной двухэлектродной ячейке в режиме постоянного напряжения в два этапа анодирования. Анодом служила Ti-фольга (ВТ-1.0) толщиной 120 мкм, катодом – пластина из нержавеющей стали. Электролитом являлся раствор этиленгликоля (50 мас.%) и глицерина (44 мас. %) с добавлением NH₄F (1 мас.%) и H₂O, (5 мас.%). Образец предварительно обрабатывался в смеси кислот HF : HNO₃ : H₂O = 1 : 6 : 20, тщательно промывался дистиллированной водой и сушился на воздухе. Первый этап анодирования проводился при напряжении 10 В, температуре 20 °С в течение 2 ч. Затем проводилась ультразвуковая обработка образца для удаления первичного оксидного слоя, промывка, сушка и вторичное анодирование в том же электролите и тех же условиях в течение 15 мин.

Морфологические особенности синтезированного образца изучались на растровом электронном микроскопе SIGMA VP Carl Zeiss. В результате двухстадийного анодирования в указанных выше условиях получили самоупорядоченный слой нанотрубок с диаметром 70 нм и длиной 2 мкм.

Для измерения фотоактивности синтезированной нанотубулярной структуры собиралась трехэлектродная фотоэлектрохимическая ячейка с хлорид-серебряным электродом сравнения. Рабочим электродом являлся слой TiO_2 -НТ на Ti фольге, а противоэлектродом служило ИТО стекло. В качестве электролита использовался водный раствор 1М NaOH. Для измерения вольтамперных характеристик (ВАХ) фотоэлектрохимическая ячейка подключалась к модульному блоку питания SMU PXI-4130 компании National Instruments. Фототок возбуждался светом дейтериевой лампы ЛД(Д), прошедшим через оптическое стекло УФС-1 и ИТО стекло, в полосе 3.42 эВ с полушириной 0.7 эВ. Мощность светового потока варьировалась в диапазоне 115–325 $\mu\text{Вт}/\text{см}^2$. Площадь фотоэлектрохимической ячейки составляла 1 см^2 .

В работе проведено измерение ВАХ характеристик фотоэлектрохимической ячейки, созданной на основе синтезированной TiO_2 -НТ структуры. Выполнен анализ ВАХ и оценены параметры гальванического элемента: ток короткого замыкания $I_{\text{кз}} = 2\text{--}6$ мкА, напряжение холостого хода $U_{\text{хх}} = 0.4\text{--}0.5$ В, максимальная мощность $P_{\text{max}} = 0.150\text{--}0.63$ $\mu\text{Вт}$, коэффициент заполнения $FF = 0.18\text{--}0.22$ и коэффициент полезного действия $\eta = 0.1\text{--}0.2$ %. Полученные низкие значения коэффициентов FF и η обусловлены малым внутренним сопротивлением созданного фотогальванического элемента.

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОКСИНИТРИДА АЛЮМИНИЯ $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}$ С ДВОЙНЫМ ДОПИРОВАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

Бабайлова Г.Ф.¹, Ягодин В.В.^{1*}, Ищенко А.В.¹, Ивичева С.Н.²,
Лысенков А.С.², Каргин Ю.Ф.², Шульгин Б.В.¹

¹) Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²) Институт металлургии РАН имени академика А.А. Байкова, г. Москва, Россия

*E-mail: VV.Yagodin@urfu.ru

CATHODOLUMINESCENCE OF ALUMINUM OXYNITRIDE $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}$ WITH DOUBLE DOPING BY RARE-EARTHED IONS

Babaylova G.F.¹, Yagodin V.V.^{1*}, Ischenko A.V.¹, Ivicheva S.N.²,
Lysenkov A.S.², Kargin, Y.F.², Shulgin B.V.¹

¹) Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²) Institute of Metallurgy and Material Science RAS, Moscow, Russia

Abstract. Pulsed cathodoluminescence of aluminum oxynitride $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}$ doped with Er^{3+} , Ho^{3+} and Tm^{3+} ions has been measured. The narrow lines registered at 460, 480 and 663 nm are related to $^1\text{D}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$, $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{H}_4$ transitions in Tm^{3+} ion and $^5\text{F}_5 \rightarrow ^6\text{I}_8$ transition in Ho^{3+} ion.

Исследования эффективных люминофоров является одной из актуальных задач физики твердого тела. Одним из перспективных классов соединений для создания эффективных люминофоров являются нитриды и оксинитриды алюминия. На данный момент в литературе описаны радиационно-оптические свойства твердотельных люминофоров на основе оксинитрида алюминия, активированного редкоземельными ионами [1-4], но имеется очень мало сведений о свойствах такого класса люминофоров при двойном допировании и процессах переноса энергии в таких соединениях. В данном сообщении приведены результаты исследований импульсной катодолуминесценции (ИКЛ) оксинитрида алюминия $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}$ со структурой шпинели, активированного редкоземельными ионами Er^{3+} , Ho^{3+} и Ho^{3+} , Tm^{3+} .

В спектрах ИКЛ исследованных образцов выделяется широкая полоса в диапазоне 350-850 нм и узкие линии, относящиеся к излучательным переходам в редкоземельных ионах. В качестве примера на рис. 1. приведен спектр ИКЛ $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}:\text{Ho}^{3+}$, Tm^{3+} . В спектре узкие линии вблизи 460 и 480 нм относятся к $^1\text{D}_2 \rightarrow ^3\text{F}_4$, $^1\text{G}_4 \rightarrow ^3\text{H}_4$ переходам в ионе Tm^{3+} соответственно. Полосу с максимумом при 663 нм можно отнести к $^5\text{F}_5 \rightarrow ^6\text{I}_8$ переходу в ионе Ho^{3+} . Наблюдаемую полосу при 821 нм идентифицировать не удалось. Также зарегистрирована узкая линия вблизи 700 нм, относящаяся к свечению неконтролируемых примесей ионов Cr^{3+} .

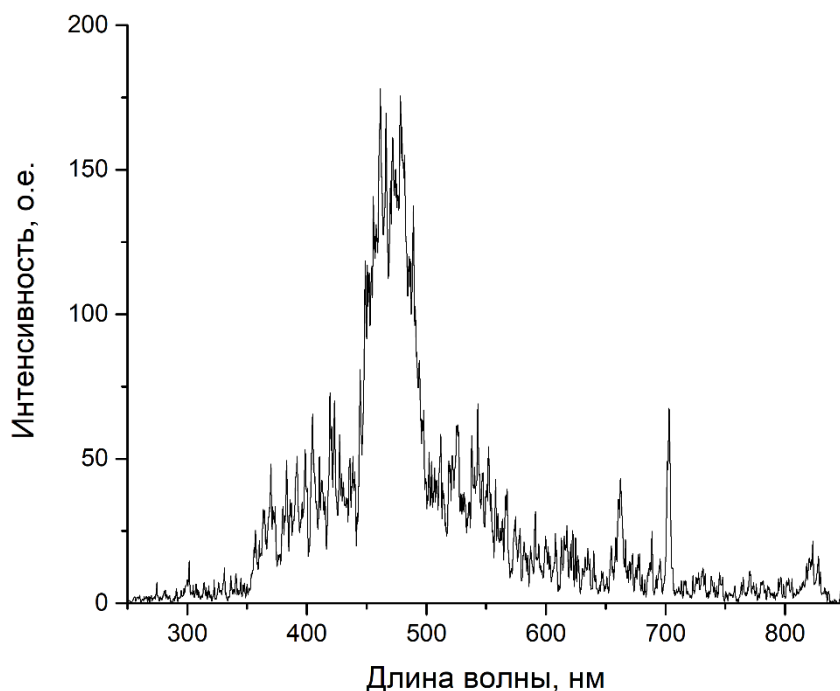


Рис. 1. Спектр катодолуминесценции оксинитрида алюминия $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}:\text{Ho}^{3+}$, Tm^{3+} .

Показано, что при создании люминофоров на основе оксинитрида алюминия эффективно двойное допирование редкоземельными ионами. Проводятся дальнейшие исследования для изучения процессов переноса энергии между центрами свечения.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект РФФИ № 17-03-00630_а).

1. J. Zhang, C. Ma, Z. Wen, M. Du, J. Long, R. Ma. Optical materials, 58, 290-295 (2016).
2. X. He, N. Lin, J. Sun, M. Guan. J. Matter. Sc., 44, 4763-4775 (2009).
3. N.S. Akhmadullina, A.S. Lysenkov, A.A. Ashmarin, Yu.F.Kargin, A.V. Ishchenko, V.V. Yagodin, B.V. Shulgin. Inorganic materials, 35, №5, 529-537 (2015).
4. N.S. Akhmadullina, A.S. Lysenkov, A.A. Ashmarin, A.E. Baranchikov, A.V. Ishchenko, V.V. Yagodin, B.V. Shulgin, Yu. F. Kargin. Ceramic International, 42, 286-293 (2016).

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОКСИНИТРИДА АЛЮМИНИЯ $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}$, ДОПИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

Ягодин В.В.^{1*}, Ищенко А.В.¹, Ивановских К.В.¹, Ахмадуллина Н.С.²,
Лысенков А.С.², Каргин Ю.Ф.², Шульгин Б.В.¹

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт металлургии РАН имени академика А.А. Байкова, г. Москва, Россия

*E-mail: VV.Yagodin@urfu.ru

PHOTOLUMINESCENCE OF ALUMINUM OXYNITRIDE $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}$ DOPED WITH RARE-EARTH IONS

Yagodin V.V.^{1*}, Ischenko A.V.¹, Ivanovskikh K.V.¹, Akhmadullina N.S.²,
Lysenkov A.S.², Kargin, Y.F.², Shulgin B.V.¹

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metallurgy and Material Science RAS, Moscow, Russia

Annotation. Photoluminescence (PL) spectra and pulsed PL decay curves of aluminum oxynitride $\text{Al}_5\text{O}_6\text{N}$ (ALON) doped with Ce^{3+} and Eu^{2+} ions were measured. In PL spectra broad bands with maximum at 380 nm (ALON:Ce) and 500 nm (ALON: Eu) related to $d-f$ transitions in rare-earth ions are observed. Pulsed PL decay curves approximated with exponential expression with one component (ALON:Ce) and two components (ALON: Eu), decay times is 24 ns and 313 ns, 1025 ns respectively.

Люминофоры на основе нитридных материалов, в частности, на основе оксинитрида алюминия (ALON), являются одними из наиболее перспективных на сегодняшний день. Внимание исследователей привлекает возможность использовать данный класс материалов для создания компонентов светодиодов и детекторов ионизирующих излучений на их основе [1, 2].

В работе представлены результаты исследований люминесцентных и спектрально-кинетических свойств данных материалов. Измерены спектры фотолюминесценции (ФЛ) (Рис. 1 а,б) образцов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{N}:\text{Ce}^{3+}$ (0,1 ат. %) и $\text{Al}_2\text{O}_3\text{N}:\text{Eu}^{2+}$ (0,5 ат. %), показавших наилучший световыход люминесценции по результатам предыдущих исследований [3, 4], а также кинетики затухания импульсной фотолюминесценции (Рис. 1 в, г). В спектрах ФЛ выделяются широкие линии с максимумами в 380 нм для образца $\text{ALON}:\text{Ce}$ и 390 и 500 нм для образца $\text{ALON}:\text{Eu}$. Указанные полосы свечения могут быть отнесены к $d-f$ переходам в ионах РЗЭ.

Кривые затухания ФЛ аппроксимируются экспоненциальным выражением с одной компонентой для образца $\text{ALON}:\text{Ce}$, и двумя компонентами для образца $\text{ALON}:\text{Eu}$. Постоянная времени затухания составляет 24 нс для $\text{ALON}:\text{Ce}$ и 313 нс, 1025 нс для $\text{ALON}:\text{Eu}$.

На основе полученных данных рекомендовано использовать оксинитрид алюминия, активированный ионами Ce^{3+} и Eu^{2+} для создания сцинтилляционных детекторов рентгеновского, гамма- и электронного излучения благодаря их малому времени высвечивания и спектру свечения, оптимальному для многих фотоэлектронных средств регистрации.

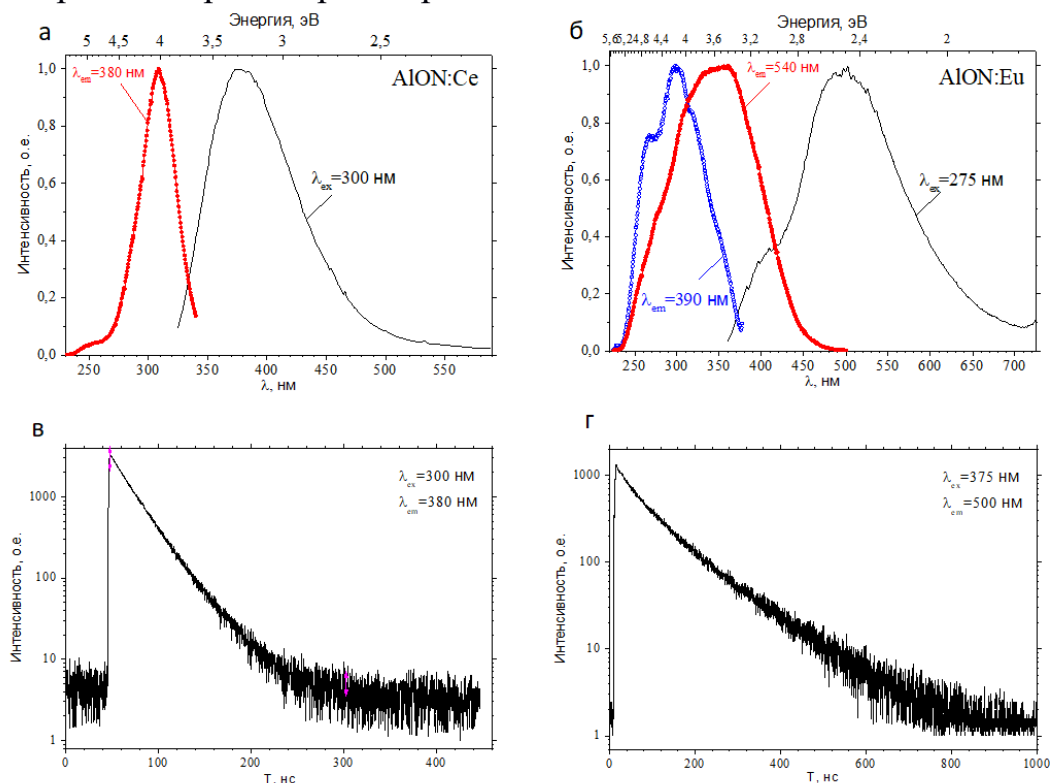


Рис. 1. Спектры ФЛ и возбуждения ФЛ для образцов $\text{ALON}:\text{Ce}$ (а) и $\text{ALON}:\text{Eu}$ (б) и кинетики затухания импульсной ФЛ для образцов $\text{ALON}:\text{Ce}$ (в) и $\text{ALON}:\text{Eu}$ (г).

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект РФФИ № 17-03-00630_а).

1. H. Xian-Hong, L. Ning, S. Jian-Hua, G. Ming-Yun. J. Mater. Sc., 44, 4763-4775 (2009).
2. C. Chen, P. Yang, G. King, E. Tegtmeier. J. Am. Ceram. Soc., 99, №2, 424-430 (2016).
3. N.S. Akhmadullina, A.S. Lysenkov, A.A. Ashmarin, Yu.F.Kargin, A.V. Ishchenko, V.V. Yagodin, B.V. Shulgin. Inorganic materials, 35, №5, 529-537 (2015).
4. N.S. Akhmadullina, A.S. Lysenkov, A.A. Ashmarin, A.E. Baranchikov, A.V. Ishchenko, V.V. Yagodin, B.V. Shulgin, Yu. F. Kargin. Ceramic International, 42, 286-293 (2016).

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КИСЛОРОД-СВЯЗАННЫХ ДЕФЕКТОВ В СУБМИКРОННОМ ПОРОШКЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Чайкин Д.В.^{*}, Вохминцев А.С., Афонин Ю.Д., Чукин А.В.,
Мартемьянов Н.А., Вайнштейн И.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: d.v.chaikin@urfu.ru

ELECTROLUMINESCENCE OF OXYGEN-RELATED DEFECTS IN ALUMINUM NITRIDE SUBMICRON POWDER

Chaikin D.V.^{*}, Vokhmintsev A.S., Afonin Y.D., Chukin A.V.,
Martemyanov N.A., Weinstein I.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Abstract. Submicron powder of single-crystalline AlN was synthesized by CVD technique. It was shown that high-field electroluminescence (EL) is registered in violet spectral range and is a superposition of two Gaussian bands with 2.85 and 3.15 eV maximums. Experimental field dependencies were analyzed using Fowler-Nordheim and Poole-Frenkel models. It was substantiated that observed EL is caused by radiative transitions with the involvement of oxygen-related centers.

Нитрид алюминия обладает шириной запрещенной зоны ≈ 6.2 эВ и является перспективным материалом для создания эмиттеров и генераторов фотонного излучения УФ и видимого диапазонов. Возможность контроля степени дефектности в процессе роста различных структурных модификаций AlN позволяет разрабатывать на его основе широкий класс устройств нанофотоники и оптоэлектроники. Данная работа посвящена синтезу и исследованию спектральных особенностей предпробойной электролюминесценции (ЭЛ) в субмикронном порошке монокристаллического нитрида алюминия.

В работе исследуются образцы AlN, полученные методом газофазного осаждения. Аттестация на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss Sigma VP

показала, что частицы порошка имеют характерные размеры 0.1 – 2.0 мкм и представляют собой гексагональные призмы правильной геометрической формы, а также комбинации призмы с дипирамидой. По результатам химического анализа установлено, что монокристаллические субмикрочастицы характеризуются нестехиометрией по алюминию с соотношением $Al : N \approx 0.9 : 1$. Основными примесями являются кислород (1.6 ат. %) и кремний (0.5 ат. %). Согласно данным рентгеноструктурного анализа с помощью дифрактометра X'PertPro MPD PANalytical полученный субмикронный порошок имеет вюрцитную структуру.

Исследование предпробойной ЭЛ проводилось при варьировании амплитуды напряженности электрического гармонического поля частотой 2 кГц в диапазоне $E = 3.3 - 11.7$ В/мкм. Для возбуждения ЭЛ использовались цифровой генератор NI PXI-5422, высоковольтный усилитель Aktakom AVA-1810 и оригинальная ЭЛ-ячейка. Расстояние между электродами ЭЛ-ячейки и толщина люминесцирующего слоя составляли 30 мкм. Контроль за напряженностью электрического поля осуществлялся с помощью цифрового мультиметра NI PXI-4071. Регистрация свечения выполнялась с использованием спектрометра Perkin Elmer LS55 в диапазоне 2 – 4 эВ.

Показано, что ЭЛ сигнал регистрируется преимущественно в фиолетовой области спектра и представляет собой одиночную полосу с максимумом ≈ 3.1 эВ и полушириной ≈ 0.75 эВ. Установлено, что при увеличении E до 10 В/мкм интенсивность ЭЛ возрастает в ≈ 60 раз и выходит на насыщение при $E > 10$ В/мкм. Все спектры ЭЛ были численно описаны (коэффициент детерминации $R^2 > 0.997$) суперпозицией двух компонент гауссовой формы с максимумами при 2.84 ± 0.06 и 3.15 ± 0.04 эВ и с полуширинами 0.79 ± 0.06 и 0.80 ± 0.05 эВ, соответственно. В рамках моделей Фаулера-Нордгейма и Пула-Френкеля для указанных компонент выполнен анализ экспериментальных зависимостей максимальной интенсивности ЭЛ от напряженности E . С учетом независимых данных обосновано предположение, что наблюдаемое предпробойное свечение формируется излучательными переходами с участием кислород-связанных центров.

Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ (СП-3437.2015.1).

ДИМЕРИЗАЦИЯ В СОЕДИНЕНИИ Na_2RuO_3 ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Газизова Д.Д.^{1*}, Ушаков А.В.², Стрельцов С.В.^{1,2}

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²⁾ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: darya.05.02@mail.ru

DIMERIZATION IN Na_2RuO_3 COMPOUND UNDER PRESSURE

Gazizova D.D.^{1*}, Ushakov A.V.², Streltsov S.V.^{1,2}

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

²⁾ Institute of Metal Physics, Russian Academy of Science, Yekaterinburg, Russia

In the thesis are presented results of pressure calculation using first-principal calculations using density functional theory. Was found that may expect a structural transition in Na_2RuO_3 at ~ 3 GPa.

В последние годы в физике твердого тела большое внимание уделяется соединениям с кристаллической решеткой «пчелиные соты». Данные соединения

демонстрируют широкий спектр различных магнитных и электрических свойств [1, 2].

В данной работе изучалась возможность образования димеризованной кристаллической структуры Na_2RuO_3 [3] под давлением, с использованием первопринципных расчетов в теории функционала электронной плотности (DFT – density functional theory) в приближение обобщенного градиента (GGA – generalized gradient approximation) [4]. Был обнаружен возможный фазовый переход при внешнем давлении 3 ГПа. В данной фазе ионы Ru образуют димеры, а также проявляются сильные изменения в электронных и магнитных свойствах кристалла Na_2RuO_3 , связанные с разрушением дальнего магнит-

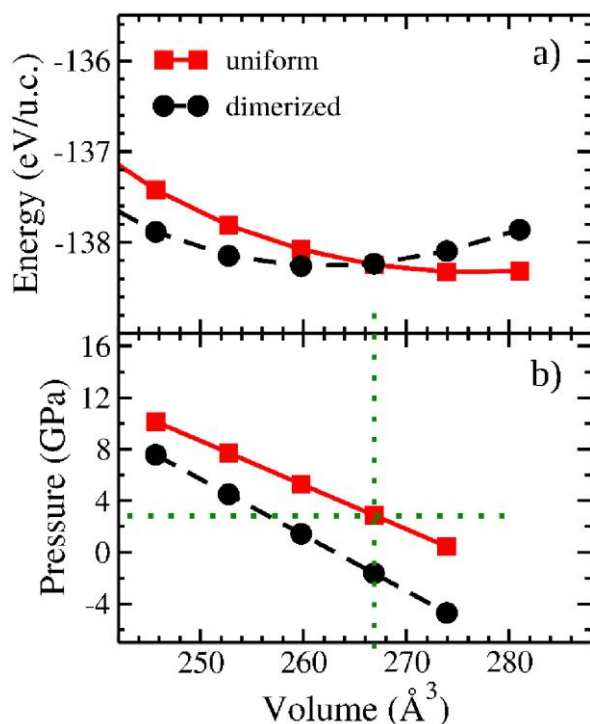


Рис. 1. (а) Зависимость полной энергии двух структур Na_2RuO_3 (без и со структурными димерами $\text{Ru} - \text{Ru}$) для различных объемов, (б) Зависимость давления от объема для этих двух структур.

ного порядка в низкотемпературной фазе и образованием спиновой щели при давлении большем, чем 3 ГПа.

По данной теме написана рукопись и отправлена в журнал JETP Letters.

1. Miura Y., Yasui Y., Sato M., et al., J. Phys. Soc. Jpn. **76** 033705 (2007). Вонсовский С.В., Магнетизм, Наука (1971).
2. Kimber S. A. J., Mazin I. I., Shen J., et al., Phys. Rev. B **89**, 081408 (2014).
3. Wang J. C., Terzic J., Qi T. F., et al., Phys. Rev. B **90**, 161110(R) (2014).
4. Изюмов Ю.А., Анисимов В.И., Электронная структура соединений с сильными корреляциями, -М. –Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика» (2008).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭФФЕКТА ЯНА-ТЕЛЛЕРА В УПРУГИХ СВОЙСТВАХ КРИСТАЛЛА ZnSe:Ni МЕТОДОМ АККУСТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Шутов И.С., Харитонов К.И., Сарычев М.Н.*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: m.n.sarychev@urfu.ru

THE STUDY OF MANIFESTATIONS OF THE JAHN-TELLER EFFECT IN THE ELASTIC PROPERTIES OF CRYSTALS ZNSE:NI BY ACOUSTIC SPECTROSCOPY

Shutov I.S., Haritonov K.I., Sarychev M.N.*

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The article is devoted to the method of the evaluation of the relaxation contribution to the total elastic moduli for crystals with Jahn–Teller (JT) impurities applied to the analysis of the experimentally measured ultrasound velocity and attenuation in ZnSe:Ni.

В ходе ультразвуковых измерений были сняты зависимости амплитуды и скорости звуковой волны, проходящей через образец от температуры в диапазоне 4-120К. Измерительная установка построена по схеме с фазовым детектированием с помощью автоподстройки частоты что позволяет, используя выражение 1, перейти к скоростям ультразвуковых волн.

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\Delta v}{v_0} \quad (1)$$

Ультразвуковые колебания генерировались с помощью пьезопреобразователей на частотах 25-167 МГц. Данные были получены как для продольных коле-

баний, так и для поперечных, распространяющихся вдоль оси [110] с с поляризацией [110] и [001].

Во всех измеряемых модах были обнаружены аномалии величины поглощения и скорости звука, связанные с релаксационным вкладом Ян-Теллеровских центров примеси ионов Ni^{2+} , присутствующих в виде примеси замещения цинка с концентрацией $3.7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Зависимости частоты и ослабления амплитуды ультразвуковой волны для поперечной колебательной моды [001] приведены на рисунке 1.

В ходе обработки экспериментальных данных в соответствии с [1,2] были получены температурные зависимости от температуры времен релаксации, адиабатического и изотермического упругих модулей.

Авторы выражают благодарность профессору В.В. Гудкову за предоставленную помощь. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-00432.

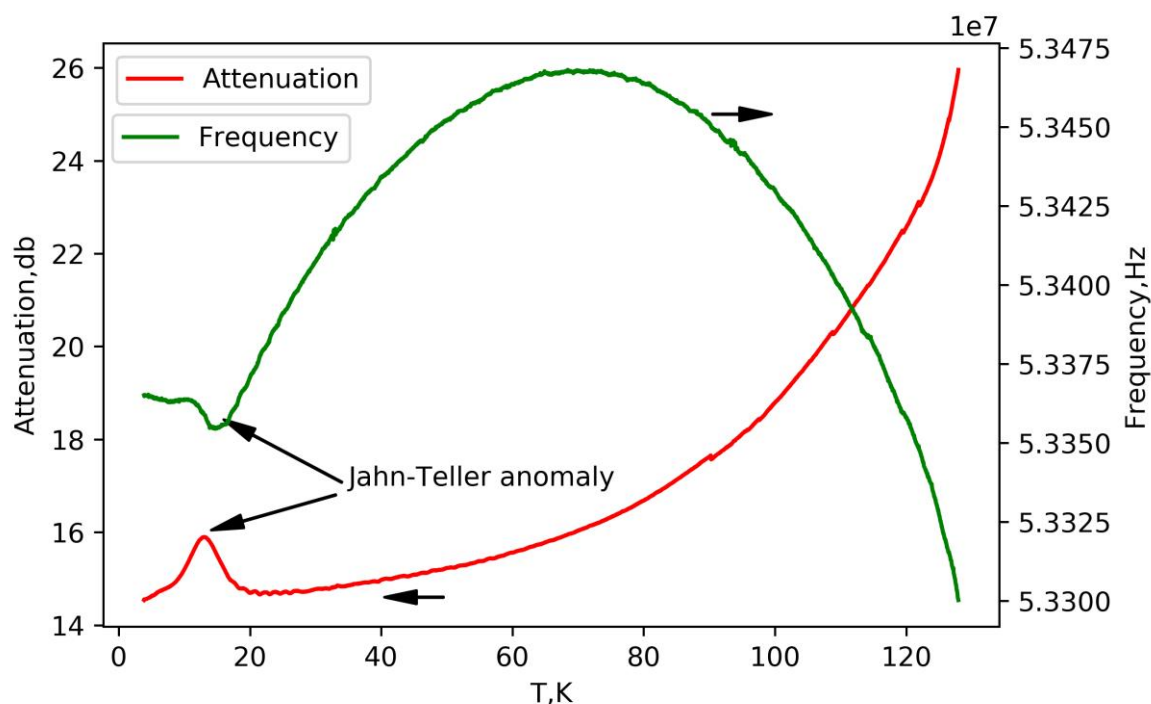


Рис. 1. Температурные зависимости частоты и ослабления амплитуды звуковой волны.

1. H. Köppel, D.R. Yarkony, H. Barentzen., The Jahn-Teller Effect Fundamentals and Implications for Physics and Chemistry, Springer (2005).
2. N.S. Averkiev, I.B. Bersuker, V.V. Gudkov, et al., J. Phys. Soc. Jpn., 86, 114604 (2017).

ДИФФУЗИЯ В БИНАРНЫХ РАСТВОРАХ ВНЕДРЕНИЯ

Бородин К.И., Волков В.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: yavolk@mail.ru

DIFFUSION IN BINARY INTERSTITIAL SOLUTIONS

Borodin K.I., Volkov V.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Coefficients of self-diffusion and chemical diffusion was calculated and was analysed in interstitial solid solutions with body-centered lattice. It was shown that possibility of rising diffusion exists.

Среди сплавов внедрения часто встречаются системы, содержащие растворенные атомы двух сортов, например, азот и углерод, и т. п. Очевидно, что физические свойства таких систем должны обладать рядом особенностей. Расчет проведен в рамках микроскопической теории диффузии [1,2].

А. САМОДИФФУЗИЯ. Явление самодиффузии возникает в растворах, где создан градиент концентрации меченых атомов одного компонента при однородности химического состава всей системы. Пусть в направлении оси Ox имеется градиент концентрации меченых атомов 1-го компонента. С учетом потока в обратном направлении имеем для полного потока меченых атомов j_1^*

$$j_1^* = j_1^*(x \rightarrow x+dx) - j_1^*(x+dx \rightarrow x) = -\frac{1}{a\tau_{01}} \exp\left(-\frac{\Delta E_1}{kT}\right)(1-p_1-p_2) \frac{dp_1^*}{dx}, \quad (1)$$

где ΔE_1 - величина потенциального барьера, преодолеваемого меченым атомом при переходе в соседнее свободное междоузлие, p_i - вероятность заполнения междоузлия атомом сорта i ($i=1,2$), τ_{01} - среднее время перехода меченого атома через потенциальный барьер. Для коэффициента самодиффузии $D_1^* = -j_1^* / \frac{dn_1^*}{dx}$, где n_1^* - число меченых атомов в единице объема, $n_1^* = a^3 p_1^* / 6$, получаем

$$D_1^* = D_{01}^*(1-p_1-p_2), \quad (2)$$

где $D_{01}^* = \frac{a^2}{6\tau_{01}} \exp\left(-\frac{\Delta E_1}{kT}\right)$, a - постоянная решетки. Согласно (2) наличие второго компонента в растворе уменьшает величину коэффициента самодиффузии.

Если $p_2 = p_2(x)$, (распределение второго компонента неоднородно) величина полного потока меченых атомов становится равной

$$j_1^* = -\frac{1}{a\tau_{01}} \exp\left(-\frac{\Delta E_1}{kT}\right)((1-p_1-p_2) \frac{dp_1^*}{dx} + p_1^* \frac{dp_2}{dx}). \quad (3)$$

Если dp_2/dx имеет такое же направление как и dp_1^*/dx , происходит усиление потока меченых атомов, в противоположном случае он ослабляется. Если $dp_2/dx < 0$, может возникнуть ситуация, когда j_1^* становится положительным, т.е. возникает восходящая самодиффузия, когда поток меченых атомов течет в сторону увеличения их концентрации.

Б. ХИМИЧЕСКАЯ ДИФФУЗИЯ. Химическая диффузия возникает при наличии неоднородного распределения атомов разных сортов по образцу, в результате чего вероятности p_i становятся функциями координат. Запишем выражения для потоков атомов каждого сорта

$$j_1 = -\frac{1}{a\tau_{01}} \exp\left(-\frac{\Delta E_1}{kT}\right) \left((1-p_2) \frac{dp_1}{dx} + p_1 \frac{dp_2}{dx}\right), \quad (4)$$

$$j_2 = -\frac{1}{a\tau_{02}} \exp\left(-\frac{\Delta E_2}{kT}\right) \left((1-p_1) \frac{dp_2}{dx} + p_2 \frac{dp_1}{dx}\right). \quad (5)$$

Подчеркнем, что как j_1 , так и j_2 определяются градиентами концентрации как первого, так и второго компонентов. При различных знаках градиентов концентраций возможна ситуация, когда поток j_1 становится положительным. В этом случае имеет место восходящая диффузия этого компонента.

1. Смирнов А.А., Теория диффузии в сплавах внедрения, Наукова думка (1982).
2. Волков В.А., Изв. Вузов. Физика, 57, 123 (2014).

ВЗАИМНАЯ РАСТВОРИМОСТЬ БИНАРНЫХ РАСТВОРОВ ВНЕДРЕНИЯ

Бородин К.И., Волков В.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: yavolk@mail.ru

MUTUAL SOLUBILITY OF BINARY INTERSTITIAL SOLUTIONS

Borodin K.I., Volkov V.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Mutual solubility of components for binary interstitial solutions were calculated in static approximation. Temperature and concentration dependences for solubility were found. It was shown that the solubility obey the law of Arrhenius.

Если два кристалла, имеющих разный химический состав, привести в тесный контакт друг с другом, то вследствие процессов химической диффузии часть атомов из одного образца начнет переходить в другой; при этом каждый

их них будет играть роль как донора, так и растворителя. В результате в равновесии возникает новая система твердых растворов, каждый из которых будет содержать «чужие» атомы. Их равновесная концентрация определит взаимную растворимость в системе.

В настоящей работе рассчитана взаимная растворимость твердых растворов внедрения $A-(C_1)$ и $B-(C_2)$. В рассматриваемой системе первый кристалл будет донором атомов A и C_1 и растворителем атомов B и C_2 , второй – донором атомов B и C_2 и растворителем атомов A и C_1 .

Обозначая через N_α^o полное число атомов сорта $\alpha (\alpha = A, B)$, через $N_{C_i}^o$ – полное число атомов $C_i (i=1,2)$, через N_A – число атомов A , отданных первым раствором, через N_{C_1} – число атомов C_1 , отданных первым раствором, и аналогично через N_B и N_{C_2} – числа атомов, отданных вторым раствором, запишем энергию рассматриваемой системы E [1-3], термодинамическую вероятность W состояния с энергией E и свободную энергию $F = E - kT \ln W$. Накладывая на F условия экстремальности по $N_A, N_B, N_{C_1}, N_{C_2}$

$$\frac{\partial F}{\partial N_A} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial N_B} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial N_{C_1}} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial N_{C_2}} = 0, \quad (1)$$

получаем уравнения для равновесных значений чисел растворенных атомов A, B, C_1, C_2 . Находим из (1) искомые растворимости, полагая их равными концентрациям растворенных компонент A, B, C_1, C_2 ,

$$R(A) = \frac{N_A}{N_B^o} = \left(\frac{1-c(C_2)}{1-c(C_1)} \right)^3 \exp \left\{ -\frac{1}{kT} \left[\frac{z}{2} v_{AA}^{(1)} + \frac{z}{2} v_{BB}^{(2)} - z v_{AB}^{(2)} + 3c(C_2)(u_{C_2}^{(2)}(A) - u_{C_2}^{(2)}(B)) \right] \right\}, \quad (2)$$

$$R(B) = \frac{N_B}{N_A^o} = \left(\frac{1-c(C_1)}{1-c(C_2)} \right)^3 \exp \left\{ -\frac{1}{kT} \left[\frac{z}{2} v_{BB}^{(2)} + \frac{z}{2} v_{AA}^{(1)} - z v_{AB}^{(1)} + 3c(C_1)(u_{C_1}^{(1)}(B) - u_{C_1}^{(1)}(A)) \right] \right\}, \quad (3)$$

$$R(C_1) = \frac{N_{C_1}}{3N_B^o} = \frac{N_B^o}{N_A^o} c(C_1) \frac{1-c(C_2)}{1-c(C_1)} \exp \left\{ \frac{1}{kT} (u_{C_1}^{(1)}(A) - u_{C_1}^{(2)}(B)) \right\}, \quad (4)$$

$$R(C_2) = \frac{N_{C_2}}{3N_A^o} = \frac{N_A^o}{N_B^o} c(C_2) \frac{1-c(C_1)}{1-c(C_2)} \exp \left\{ \frac{1}{kT} (u_{C_2}^{(2)}(B) - u_{C_2}^{(1)}(A)) \right\}, \quad (5)$$

где $c(C_1)$ и $c(C_2)$ – концентрации внедренных атомов в исходных растворах. Здесь $v_{\alpha\beta}^{(i)}$ – взятая со знаком минус энергия пары ближайших атомов сортов α и β в i -м ($i=1,2$) кристалле, $u_{C_i}^{(j)}(\alpha)$ – энергия атома C_i в междоузлии j -го кристалла, окруженного атомами α , z – координационное число решетки.

Как следует из (2) – (5), растворимости компонент подчиняются закону Аррениуса

$$\ln R(x) = a(x) + \frac{E(x)}{kT}, \quad (6)$$

где $x = A, B, C_1, C_2$. В (6) $E(x)$ – энергия растворения компоненты x .

К настоящему времени проведено детальное исследование взаимной диффузии в твердых телах [4] Насколько нам известно, взаимная растворимость в кристаллах экспериментально не изучалась. Было бы интересно провести такие исследования.

1. Смирнов А.А., Молекулярно – кинетическая теория металлов, Наука (1966).
2. Смирнов А.А., Теория сплавов внедрения, Наука (1979).
3. Волков В.А., Машаров Г.С., Машаров С.И., ФММ, 102, 261 (2006).
4. Гуров К.П., и др., Взаимная диффузия в многофазных металлических системах, Наука (1981).

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Gd_2O_3 - Y_2O_3

Вяткина С.П.^{1*}, Зацепин А.Ф.¹, Рычков В.Н.¹,
Кузнецова Ю.А.¹, Машковцев М.А.¹.

¹⁾ Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: vsp95@mail.ru

OPTICAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTIONS Gd_2O_3 - Y_2O_3

Vyatkina S.P.^{1*}, Zatsepin A.F.¹, Rychkov V.N.¹,
Kuznetsova Yu.A.¹, Mashkovtsev M.A.¹.

¹⁾ Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

In this paper, the role of the quantitative composition of solid solutions of Gd_2O_3 - Y_2O_3 in the formation of the luminescent properties of Gd^{3+} ions was investigated by optical spectroscopy. The main goal was to study the luminescence behavior of Gd_2O_3 - Y_2O_3 under various types of excitation. Samples of Gd_2O_3 - Y_2O_3 nanoparticles with different compositions were obtained by chemical precipitation from hydroalcoholic solutions.

В настоящей работе методами оптической спектроскопии исследовалась роль количественного состава твердых растворов Gd_2O_3 - Y_2O_3 в формировании люминесцентных свойств ионов Gd^{3+} . Основной целью являлось исследование люминесцентного поведения Gd_2O_3 - Y_2O_3 при различных видах возбуждения. Образцы наночастиц Gd_2O_3 - Y_2O_3 с различным составом были получены методом химического осаждения из водно-спиртовых растворов.

Твердые растворы $(100-x)Y_2O_3 - xGd_2O_3$ ($0 < x < 100\%$) были получены методом химического осаждения из водно-спиртовых растворов в Уральском Федеральном Университете. Средний размер частиц (30-40 нм) и кубическая однофазная модификация (пространственная группа Ia-3) образцов были идентифицированы с помощью метода рентгеновской дифракции. Спектры фотолюми-

несценции (ФЛ) и возбуждения ФЛ были исследованы для всех образцов из концентрационной серии при комнатной температуре.

Возбуждение фотолюминесценции ионов Gd^{3+} в $Y_2O_3 - Gd_2O_3$ осуществляется по двум каналам: за счет межзонных переходов (спектральная область 200-230 нм) и по внутрицентровому механизму (переходы $^8S_{7/2} \rightarrow ^6D_j$ при 254, 261 нм и $^8S_{7/2} \rightarrow ^6I_{7/2}$ при 282 нм), как показано на рисунке 1.

Интенсивность свечения ионов Gd^{3+} достигает максимума при концентрации Gd_2O_3 равной 2% в твердом растворе $Y_2O_3 - Gd_2O_3$ при возбуждении 200 нм, и равной 4% при возбуждении 282 нм. Были получены концентрационные зависимости интенсивности свечения ионов Gd^{3+} при возбуждении 282 нм и при 200 нм. При дальнейшем увеличении концентраций Gd_2O_3 (начиная с 30 до 92%) образец престаёт люминесцировать. С дальнейшим ростом концентрации Gd_2O_3 интенсивность свечения Gd^{3+} снижается за счет эффекта концентрационного тушения (рисунок 1).

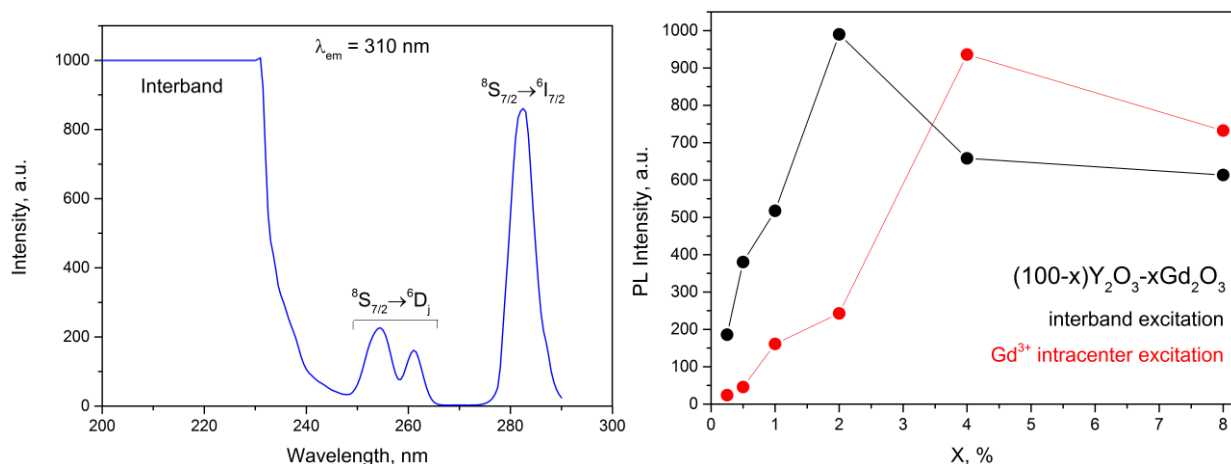


Рис. 1. Слева: спектр возбуждения фотолюминесценции ионов Gd^{3+} в твердых растворах $(100-x)Y_2O_3 - xGd_2O_3$ ($0.25 < x < 8$). Справа: концентрационные зависимости свечения ионов Gd^{3+} для двух видов возбуждения.

Таким образом, существует несколько каналов возбуждения люминесценции ионов Gd^{3+} в твердых растворах $Gd_2O_3 - Y_2O_3$: межзонные переходы и внутрицентровые переходы. При концентрациях Gd_2O_3 от 0,25 до 8% в образцах $Gd_2O_3 - Y_2O_3$ максимум интенсивности свечения ионов Gd^{3+} достигается при 2% при внутрицентровом возбуждении и 4% при межзонном возбуждении. При больших концентрациях Gd_2O_3 образцы $Gd_2O_3 - Y_2O_3$ прекращают люминесцировать ввиду эффекта концентрационного тушения.

ПРИРОДА ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПАРАМАГНИТНЫХ ЦЕНТРОВ В МЕЛАНИНЕ ПО ДАННЫМ ЭПР СПЕКТРОСКОПИИ

Минихаметова Е.А. *, Байtimiров Д.Р., Конев С.Ф.,
Иванов Д.В., Правишкина Т.А.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

*E-mail: evgeniamini@gmail.com

INVESTIGATION OF THE ORIGIN OF THE RADIATION-INDUCED PARAMAGNETIC CENTERS IN MELANIN BY EPR SPECTROSCOPY

Minikhametova E.A. *, Bajtimirov D.R., Konev S.V., Ivanov D.V., Pravishkina T.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

This research is devoted to the study of the dependence of the intensity of the EPR signal appearing in the hair on the ionizing radiation. EPR spectra of 24 human hair samples were recorded. Human hair is characterized by a relatively low sensitivity to radiation, but very stable ESR signal. Black hair samples are most resistant to irradiation, since the amplitude of the signal did not varied with time.

Данная работа посвящена исследованию методом ЭПР радиационно-индуцированных парамагнитных центров, возникающих в меланопротеиновом волокне человеческого волоса под воздействием ионизирующего излучения, создаваемого линейным ускорителем электронов модели УЭЛР-10-10С2.

В результате ранее проведенных нами экспериментов по воздействию ионизирующего излучения на различные ткани одежды, пластмассы, резины, а также образцы ногтей и волос человека было показано, что человеческий волос характеризуется относительно невысокой радиационной чувствительностью, но при этом весьма высокой стабильностью сигнала ЭПР, в результате чего может быть использован в качестве объекта для дозиметрических измерений. Единственной сложностью, которая возникает при оценке полученной дозы на волосах – наличие фонового сигнала. Фоновым сигналом в волосе является узкий сигнал меланина, обладающий схожими характеристиками с радиационно-индуцированными сигналами ЭПР, наблюдаемыми на других биологических образцах (кожа, ногти, зубная эмаль). Учитывая тот факт, что содержание меланина в волосах различного цвета может сильно варьироваться, дозиметрия на них всегда будет иметь систематическую погрешность. Целесообразным является разработка методики коррекции систематической погрешности исходя из цвета конкретного образца волоса.

В ходе работы, были проведены измерения сигналов ЭПР 24 образцов волос различной пигментации до и после облучения.

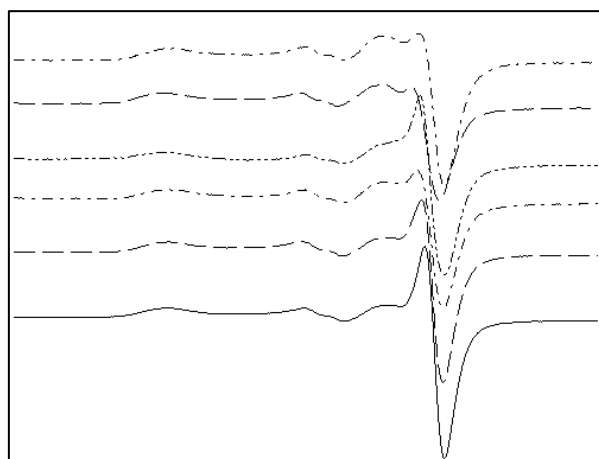


Рис. 1. Типичные «фоновые» сигналы ЭПР меланина волоса после облучения ИИ

В результате эксперимента было показано, что образцы черных волос наиболее устойчивы к воздействию ИИ, так как характеризуются наименьшим значением изменения амплитуды сигнала ЭПР. С уменьшением интенсивности окраски, наблюдается постепенное увеличение числа радиационно-индуцированных центров.

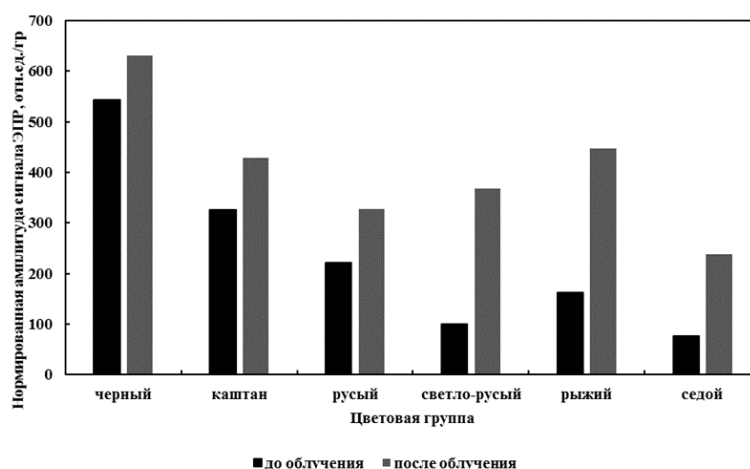


Рис. 2. Изменение амплитуды, нормированной на массу после облучения

При исследовании релаксации радиационно-индуцированных центров, возникающих в результате облучения, было обнаружено, что амплитуда сигнала ЭПР РИЦ в образцах черных волос практически не меняется со временем. В случае образцов волос с меньшей интенсивностью окраски величина амплитуды сигнала ЭПР облученных образцов уменьшалась тем быстрее, чем меньше интенсивность окраски волоса для всех образцов внутри одной цветовой группы. Для образцов седых волос общей зависимости амплитуды сигнала ЭПР от времени выдержки не наблюдалось. Данный факт, вероятно, связан с присут-

ствием в седом волосе меланинов, структура которых не подверглась изменению в результате процессов, связанных с поседением.

Таким образом, было показано, что фоновый сигнал меланина необходимо учитывать при определении дозы в случае использования волоса в качестве объекта для ЭПР дозиметрии.

Научное издание

V Международная молодежная научная конференция:
Физика. Технологии. Инновации.
ФТИ-2018

14–18 мая 2018 г.

Тезисы докладов

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка
А. В. Ищенко

Подписано в печать 10.05.2018. Формат 70×100 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 56,6.
Уч.-изд. л. 50,9. Тираж 500 экз. Заказ